

Anat. 8/25

(217)

Molekuläre Vorgänge
in der
Nervensubstanz.

1. Abhandlung:
Voruntersuchungen.

Von
Dr. E. Harless.

Oben mich von einer vorerfassten Anzahl der Voruntersuchungen, die das Wesen der Nervensubstanz betreffen, eine kleine Auswahl einzeln darzustellen.

Aus den Abhandlungen der k. bayer. Akademie d. W. II. Cl. VIII. Bd. II. Abth.

München 1858.
Verlag der k. Akademie,
in Commission bei G. Franz.

Molekuläre Vorgänge

in der

Nervenzellen.

I. Abhandlung:
Vorstudien.



Verlag der K. Akademie der Wissenschaften in München.

München 1858.

Verlag der K. Akademie der Wissenschaften.

in Commission bei G. Franz.

Andere betonen nicht aus Gröössenhaltung der darauf gewonnenen Resultate vorläufig bei Seite liegen lassen, sondern weil auf ihnen theils das Aeusserste erreicht scheint, oder die Menge der dabei vorfindlichen variablen Gröössen noch nicht zu bewältigen ist.

Molekuläre Vorgänge

Als Forschungsmittel habe ich bis jetzt ausschliesslich den einfachen galvanischen Strom benützt. Kein anderes bietet in gleichem Mass die Möglichkeit einer Untersuchung der Nervenstärke, seiner Umgrenzung auf der Nervenbahn, in Beziehung auf Art und Dauer, kein anderes erzeugt ohne rasche Zerstörung so bedeutende Kraftauswirkungen.

Von
Dr. E. Harless.

Bekanntlich lässt sich die Wirkung eines galvanischen Stromes auf In der Sitzung der mathematisch-physikalischen Classe vom 9. Mai 1857 habe ich eine Reihe von Sätzen über molekuläre Vorgänge in der Nervensubstanz aufgestellt, welche auf ausgedehnte Versuchsreihen an dem galvanischen Froschpräparat basirt sind. Jetzt beabsichtige ich im Einzelnen darzuthun, dass die Aufstellung jener Sätze ihre Berechtigung habe.

Hier bleibt der mit dem Nerv zusammenhängende Muskel stets Ohne mich von einer vorgefassten Ansicht oder Vermuthung über das Wesen der Nerven thätigkeit leiten zu lassen, ging mein Bestreben einzig dahin, eine möglichst grosse Anzahl von Variablen bei den Experimenten messbar zu machen, und eine möglichst grosse Anzahl von Thatsachen zu sammeln, aus welchen sich Gesetze der molekulären Vorgänge in der Nervensubstanz ableiten lassen.

Kann ich bis jetzt auch keine grössere Hoffnung hegen, als Beiträge zu einer vollständig abgerundeten Theorie zu liefern, so glaube ich damit auch entschuldigt zu haben, wenn ich mich diesem Ziel auf verschiedenen Wegen zu nähern suche, und manche der schon von

Anderen betretenen nicht aus Geringschätzung der darauf gewonnenen Resultate vorläufig bei Seite liegen lasse, sondern weil auf ihnen bereits das Aeusserste erreicht scheint, oder die Menge der dabei vorfindlichen variablen Grössen noch nicht zu bewältigen ist.

Als Erregungsmittel habe ich bis jetzt ausschliesslich den einfachen galvanischen Strom benützt. Kein anderes bietet in gleichem Maass die Möglichkeit einer numerischen Bestimmung seiner Stärke, seiner Umgrenzung auf der Nervenbahn, in Beziehung auf Art und Dauer, kein anderes erzeugt ohne rasche Zerstörung so bedeutende Kraftäusserungen in diesen Gebilden.

Bekanntlich lässt sich die Wirkung eines galvanischen Stromes auf den Nerv für sich aus dem Gang eines astatischen Nadelpaares erkennen, wenn man diesen mit Du Bois's Vorrichtung in Verbindung bringt. Der Multiplicator gibt uns aber nur von etwas länger andauernden Zuständen der Nerven Rechenschaft, nicht von deren flüchtigem Wechsel, welchen ein momentaner galvanischer Reiz erzeugt.

Hiefür bleibt der mit dem Nerv zusammenhängende Muskel stets der einzig brauchbare Index. Die Streitfrage über die Muskelirritabilität ganz bei Seite gelassen — Niemand wird behaupten können, dass die Leistungsfähigkeit, oder allgemeiner ausgedrückt, die physikalische Beweglichkeit der Moleküle in diesen beiden so ganz verschieden gebauten und aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzten Geweben unter allen Umständen sich relativ gleich bleiben müsse.

Wenn man den Nerv eines Muskels reizt, dessen Endsehne mit dem Pinsel des Kymographion in Verbindung steht, so erhält man Curven, deren Gestalt von der vermischten Wirkung beider des Nerv und des Muskels Rechenschaft gibt. Bleibt bei zwei Reizversuchen, welche in

der kürzesten Zeit hinter einander angestellt worden, Alles ganz genau gleich, so kann die Curve in beiden Fällen trotzdem sehr verschieden ausfallen.

Diess gilt hauptsächlich in Beziehung auf die grösste Höhe der Ordinate, also in Beziehung auf die Stärke der Muskelverkürzung, und lässt sich in dem Maass häufiger beobachten, als die Intensität der galvanischen Einwirkung abgeschwächt wird.

Ich könnte Hunderte von Beispielen anführen, in welchen der galvanische Reiz unter ganz gleichen Umständen auch nicht den kleinsten Muskel des Tarsus im Geringsten verkürzte, und im nächsten Moment den Gastrocnemius desselben Präparates auf's Heftigste zur Contraction anregte, um in der nächsten Secunde wieder ganz erfolglos zu bleiben.

Wenn vollends neben dem galvanischen Reiz noch anderweitige Umstände bei dem Experiment auftreten, in Folge deren die Muskeln in tumultuarische Convulsionen gerathen, dann bleibt es vollkommen unbestimmbar, wie gross die Wirkung jenes Reizes ist.

Man sieht: um die Erregbarkeit eines Nerven zu bestimmen, ist das Maass der Muskelverkürzung aus zwei Gründen unbrauchbar: erstens weil bei gleichbleibender Intensität des Reizes ihr Werth schwanken kann; und zweitens weil von einer gewissen Grenze an die Erschütterung der Nervenmoleküle sich mit wachsender Intensität des Reizes steigern lässt, ohne dass die Muskeln das schon vorher erreichte Maximum ihrer Verkürzung zu überschreiten vermögen.

Aus diesen Gründen habe ich den umgekehrten Weg eingeschlagen; ich beobachte nicht das Maass der Muskelverkürzung, welches ein bestimmter, messbarer Grad des Reizes erzeugt, um daraus auf die Erregbarkeit des Nerv zurückzuschliessen; sondern ich bestimme den Grad

desjenigen Reizes, welcher eben ausreicht, Zuckung zu erzeugen, ohne sich um deren Heftigkeit oder um das dadurch herbeigeführte Maass der Muskelverkürzung zu kümmern.

Wie ist aber der Bestimmung des „eben noch ausreichenden“ Grades der Reizung Genüge zu thun, wenn man weiss, dass der gleiche Reiz bald erfolgreich, bald erfolglos seyn kann?

Ich setze den Fall, es wäre eine Anzahl von Versuchen mit verschiedenen starken Reizen so angestellt worden, dass man für jeden Grad der Reizung eine Reihe von Beobachtungen erhalten hätte. Wollte man nun hieraus bestimmen, welches der geringste Grad ist, bei dem man noch sicher auf eine Wirkung rechnen darf, so hätte man zu suchen, bei welcher Reizung die Zuckung am häufigsten beobachtet worden, d. h. welche Stufe der Erregung zuerst constant Zuckungen erzeugt hat. Würde man den Versuch aber an ein und demselben Präparat wirklich so anstellen, und bald stärker, bald schwächer, dann stärker und wieder schwächer u. s. f. reizen, so würde man sich desswegen neuen Täuschungen aussetzen, weil, wie später noch ausführlich gezeigt werden soll, jede Reizung eine gewisse Nachwirkung, wenn auch oft nur auf sehr kurze Zeit, in dem Nerv hinterlässt, welche bei stärkeren Reizen auch grösser, und ausserdem nicht immer von der gleichen Art ist.

Die Methode der Reizung muss also eine solche seyn, dass man mit den geringsten Intensitätsgraden beginnt, dieselben ganz stetig steigert, und den Grad aufsucht, bei welchem zuerst jeden Impuls eine Zuckung beantwortet.

Da es keineswegs gleichgiltig ist, wie viel Zeit zwischen zwei Erregungen verstrichen ist, so entsteht die Forderung, für vergleichende Versuche die Pausen genau gleich gross zu machen. Das Oeffnen und Schliessen der Kette, mit welcher man reizt, kann schon, desshalb nicht

mit der Hand geschehen, sondern muss von einem Uhrwerk besorgt werden. Dieses befindet sich in dem Gehäuse P (Tab. I.). Es setzt den Pendel in Bewegung, dessen verschiebbare Linse g eine genaue Regulirung seiner Schwingungs-Geschwindigkeit zulässt. Wie dabei die Kette regelmässig geöffnet und geschlossen werden muss, lässt sich aus der Abbildung leicht erkennen; n und n' sind zwei Quecksilbernäpfchen. Das unmittelbar über dem Drehpunkt des Pendels an diesen angeschraubte, gabelförmige Drahtstück b ist so gebogen, dass die eine Zinke auch während der Schwingungen des Pendels permanent in dem Quecksilber von n' eingetaucht bleibt, während die Spitze der anderen Zinke bei jeder Schwingung einmal eintaucht und einmal den Spiegel des stets vollkommen rein erhaltenen Quecksilbers von n verlässt. Der Schlüssel s zieht das Uhrwerk auf.

Die zweite Forderung, welcher genügt seyn muss, ist die, dass man die Stärke des galvanischen Reizes von seinem geringsten Grad an stetig und mit Leichtigkeit messbar verändern könne.

Abgesehen von der Geschwindigkeit, mit welcher der Strom unterbrochen wird, hängt der physiologische Effekt einer galvanischen Reizung bekanntlich von der Stromdichte und von der Art ab, wie die Zuleitungsdrähte an den Nerv angelegt werden. In den Versuchen, welche zuerst zur Sprache kommen sollen, habe ich alle Grössen der Ohm'schen Formel mit Ausnahme von *einer* constant zu erhalten gesucht; nur die eine leicht messbar variirt, Applicationsweise und Geschwindigkeit der Unterbrechung des Stromes ebenfalls genau gleich gelassen.

Das Letztere wurde durch den schon besprochenen Pendel erreicht. Die willkürlich variirte Grösse ist das I der Ohm'schen Formel: der Leitungswiderstand im Schliessungsbogen.

Die Wahl der Natur dieses Bogens kann nicht lang unentschieden

bleiben, wenn man die grossen Differenzen kennen gelernt hat, zwischen welchen die Erregbarkeit der Nerven in verschiedenen Zuständen schwankt. Wollte man ihn durchaus metallisch machen, also einen Rheostaten irgend einer der bekannten Constructionen dazu verwenden, so müsse man seine Dimensionen enorm gross nehmen, und kaum würde sich eine Vorrichtung ersinnen lassen, bei welcher man in der erforderlich kurzen Zeit die Abwicklung so grosser Drahtmassen bewerkstelligen könnte. Der zu verändernde Theil des Schliessungsbogens muss also eine Flüssigkeit seyn. Am einfachsten lässt sich ihr Widerstand durch Vergrösserung ihrer Länge bei überall gleichem Querschnitt ändern, wenn man sie in einer genau cylindrischen Glasröhre einschliesst und in sie hinein bald tiefer, bald weniger tief den einen Arm des unterbrochenen metallischen Schliessungsbogens versenkt, während der andere an einem constanten Punkt mit der Flüssigkeit in Berührung bleibt.

Die enormen Widerstände, welche man bei manchen Versuchen anwenden muss, um den Strom bis zu dem erforderlichen Grad abzu- schwächen, verlangen auch bei sehr kleinen Querschnitten so beträchtliche Längen der Flüssigkeitssäule, dass dadurch der im Prinzip so einfache Apparat eine complicirtere Gestalt gewinnen muss.

Meine Vorrichtung (Rh. Tab. I.) besteht aus folgenden Theilen. Der Fuss gg' des Gestelles trägt eine $3\frac{1}{2}$ Meter hohe Säule s. An ihr ist das Brett br aufgeschraubt, welches 1,86 Meter lang, 3 Centim. dick und 14 Centim. breit ist. Starke Strebepfeiler ff' in das Fussgestell eingelassen, welches selbst auf starken Stellschrauben aufruhrt, sichern die Festigkeit dieses Gerüsts. In das Brett ist die Theilung in Centimeter eingelassen, und auf ihm drei 150 Centim. lange Glasröhren a b c von möglichst genau cylindrischem Lumen durch die Messingspangen $\alpha\alpha'$ und $\beta\beta'$ festgehalten.

Da man keine Röhren von durchaus ganz genau gleichem Quer-

schnitt bekommen kann, muss man sich begnügen, den mittleren Querschnitt zu ermitteln. Diess geschieht durch mehrere Wägungen der Menge von Wasser oder Quecksilber, welche die Röhre ausfüllt, und Messung ihrer Länge. Die dadurch gefundene Zahl betrug für unsere Röhren 9,07 □ Millimeter.

Jede derselben trägt oben, durch ein Kautschuk-Röhrchen mit ihr verbunden, einen kleinen gläsernen Trichter, um die Füllung vornehmen zu können, und unten bei h h' h'' einen kleinen Messinghahn, um die Füllung zu wechseln. In das untere Ende der Röhre ragen bis zu dem Nullpunkt der Theilung starke eingekittete Kupferdrähte hinein. Diese sind sehr fein zugespitzt, nur ihr oberstes Ende blank metallisch, sonst, so weit sie in der Glasröhre stehen, von Siegellack umgeben. Durch die metallischen Kupplungen, welche unten zwischen a b bei q und oben zwischen k und k' angebracht sind (an letzterer Stelle ragen die Drähte 2 und 3 bis zu dem 150. Centim. der Theilung), hat man es in der Hand bald den Widerstand der Flüssigkeit in der Röhre b , bald den von b und c in die übrige Leitung einzuschalten.

Zur weiteren Regulirung der Widerstände dient der wohl gefirnisste, nur an seiner untersten Spitze blanke Kupferdraht p . Er hat einen Querschnitt von c. $7\frac{1}{2}$ □ Millimeter, ist möglichst steif und bei x mit einem ausserdem überspannenen Kupferdraht von 0,7 Millim. Durchmesser durch eine Klemme verbunden.

An der Klemme befindet sich ferner eine seidene Schnur, welche über die auf dem Gipfel der Säule s befestigte Rolle r läuft, unten ein an dem Tisch oder an der Vorrichtung einzuhängendes Gegengewicht trägt. Sie dient dazu, den Draht p in der Röhre a höher hinaufzuziehen oder ihn dem Draht q unten zu nähern, und damit die Höhe der eingeschalteten Flüssigkeitssäule zu ändern.

Um zu verstehen, wie mit der grössten Schnelligkeit die Länge des feuchten Leiters bei dem Experiment geändert werden kann, müssen wir noch einen Blick auf die Rückseite des Apparates werfen, dessen oberes Stück bei Rh. 1, dessen unteres bei Rh. 2 abgebildet worden ist.

Auf der vorderen Ansicht sieht man oben die beiden Klemmen k und k' durch ein queres metallisches Verbindungsstück gekuppelt.

Auf der Rückseite (bei Rh. 1 k) sieht man ein von der Kuppelung aufsteigendes Metallstück, welches abermals eine Klemme trägt, in welcher der Draht l befestigt ist. Dieser starke, gefirnisste Kupferdraht von c. 10 □ Millimeter Querschnitt läuft hinten längs der Säule s herab, durch einige Spangen m m' an sie befestigt, um unten mit wohl verquickter Spitze in den Quecksilbernapf QV zu tauchen.

Unten sieht man in der vorderen Ansicht von den Klemmen q und q' aus Drähte einerseits nach rechts, andererseits nach links (d und d') in Kautschuk-Röhren eingehüllt durch die Strebepfeiler f und f' nach der Rückseite des Apparates ziehen. Dort (Rh. 2) verliert sich der eine Draht d in dem Quecksilbernapf QVI , der andere d' in dem Quecksilbernapf QIV .

Auf dem Tisch gewahrt man das einfache galvanische Element, einen Grove'schen Becher, von welchem aus wir jetzt mit Ausschluss des Apparates Q den Gang des Stromes durch den feuchten Leiter verfolgen wollen. Zuvor ist aber noch das bei Rh. 2 sichtbare Verbindungsstück $QIII$ (ein Quecksilbernapf) w zu berücksichtigen. Die kleine isolirte Säule z auf dem Tisch ist der Träger eines Drahtstückes, dessen Endpunkte je in den Quecksilbernapf QII und $QIII$ tauchen. Zwischen den Näpfchen $QIII$ und QIV (Rh. 2) steht ein Glastrichter tr , in dessen Mündung das doppelt gekrümmte Drahtstück ww locker steckt.

Je nachdem nun das eine Ende von w in das Quecksilber von QVI oder QV oder QIV versenkt wird, je nachdem ist der feuchte Leiter von b oder c ganz ausgeschlossen oder beide zugleich in das Bereich des Schliessungsbogens mit hereingezogen.

Gesetzt also w tauche in QVI ein; dann geht der vom Zink der Kette kommende und bis QII fortgeleitete Strom von da durch z, QIII, w, QVI nach d und in dem feuchten Leiter; von a nach dem Draht p durch die bald längere, bald kürzere Schlinge von p und die Umwicklung des Stativstückes h, dessen Arm nur den Zweck hat, jeder Verwicklung des dünnen Leitungsdrahtes und jeder Berührung desselben mit irgend einem Theil des Apparates vorzubeugen. Weiter geht der Strom nach k zu dem Pendel; von ihm zu dem Platin des Elementes.

Bei dieser Anordnung sind sonach immer nur Bruchtheile der in a befindlichen Flüssigkeitssäule eingeschaltet, deren Länge sich rasch durch die Verschiebungen des Drahtes p in der Glasröhre ändern lässt. Der Trichter an a nimmt die durch den Draht verdrängte Flüssigkeit stets auf, und lässt sie wieder nachfliessen, wenn der Draht emporgezogen wird, so dass bei allen Bewegungen desselben die Röhre stets vollkommen bis zur Höhe von 150 Centimeter gefüllt bleibt.

Taucht der Draht w (Rh. 2) statt in QVI in QV ein, so geht der Strom über QII, z, QIII, w, QV nach l; von der Klemme k (Rh. 1) der oberen Kupplung nach 2; vom Ende dieses Drahtes durch die mit Flüssigkeit gefüllte Röhre b, sodann durch die untere Kuppelung q in die Füllung der Röhre a, und schliesslich wieder zu dem mit dem Platin in Verbindung stehenden Rest des metallischen Schliessungsbogens.

Je nach der Einsenkung des Drahtes p in die Füllung von a ist jetzt die Länge des eingeschalteten feuchten Leiters = 150 Centimeter

(Flüssigkeitssäule in b) $+ n$ Centimeter des feuchten Leiters von a. Das ist die zweite Anordnung.

Die dritte Anordnung ist ebenso schnell hergestellt; wenn man nämlich den Draht w (Rh. 2) in QIV eintaucht. In diesem Fall geht der Strom, wieder von QII an gerechnet, durch z, QIII, w, QIV nach d'; von d' durch q' in die Flüssigkeitssäule von c. In einer Höhe derselben von 150 Centimeter durch den Draht 3 k' und die obere Kuppelung nach k; von dort durch den Draht k, 2 in die Flüssigkeit der bis zu 150 Centimeter Höhe angefüllten Röhre b, durch diese ganze Säule des feuchten Leiters zu der unteren Kuppelung q; dort tritt der Strom abermals in die Flüssigkeit, nämlich in die der Röhre a, um schliesslich wieder die metallische Leitung in p zu erreichen.

In diesem Fall beträgt die Länge des feuchten Schliessungsbogens 150 (in der Röhre c) $+ 150$ (in der Röhre b) $+ n$ Centimeter (in der Röhre a). Die feuchte Leitung kann also bis zu einer Länge von 450 Centimeter gesteigert werden und verringert bis zu 0 der Rheostatenablesung an der Röhre a.

Ist aber auch der Draht p bis dahin herabgelassen, berühren sich somit die beiden Stücke der metallischen Leitung an diesem Punkt, so ist damit doch noch nicht *aller* Widerstand der feuchten Leitung aufgehoben; d. h. man hat im Schliessungsbogen noch immer einen grösseren Widerstand, als wenn er aus einem einzigen continuirlichen Drahtstück bestünde. Denn trotz der innigsten Berührung des von der Kuppelung q in die untere Mündung von a hineinragenden Metalles mit dem Ende des völlig herabgelassenen Drahtes p bleibt dazwischen eine, wenn auch unmessbar dünne Flüssigkeitsschicht, welche bei ihrem so viel mal geringeren Leitungsvermögen an dieser Stelle den Widerstand im Schliessungsbogen noch sehr viel grösser erscheinen lässt, als wenn

beide Drahtenden metallische Continuität hätten. Ich erhalte an der gewöhnlichen Tangentenboussole bei Füllung des Grove'schen Bechers auch mit stärkeren Säuren keine Ablenkung, wenn der Draht p bis zu dem Nullpunkt des Rheostaten herabgelassen ist, welche sofort beträchtlich bis zu 10° und 15° constant wird, sobald ich die Enden von p in die Klemme der Kuppelung q mit einschliesse. Dadurch gewinnt die Ablesung des Rheostatenstandes für den Nullpunkt der Theilung eine andere Bedeutung, als wenn man sie für gleich mit rein metallischer Schliessung eines continuirlichen Drahtbogens erachten wollte.

Kennt man den spezifischen Leitungswiderstand der angewandten Flüssigkeit, die Dimensionen ihrer Säule für jede einzelne Beobachtung, die Grösse der etwa vorkommenden Polarisation, den Einfluss der Widerstände in der Kette, des metallischen Theiles der übrigen Leitung und die Leitungswiderstände der Nerven, an welchen experimentirt wird, so hat man bei fortwährender Constanz der übrigen Bedingungen, deren Erreichbarkeit später noch besprochen werden soll, die Mittel zu der Gewinnung derjenigen numerischen Grundbestimmungen, deren wir schon zu ausgedehnten Versuchsreihen bedürfen. Sie sind es, welche im Folgenden sofort ermittelt werden sollen, ehe wir zur Betrachtung des Schemas eines solchen Reizversuches und der übrigen dabei erforderlichen Cautelen übergehen.

Zur Füllung der Rheostaten-Röhren kann man verschiedene Salzlösungen von diesem oder jenem Concentrationsgrad, oder destillirtes Wasser verwenden. Am Geeignetsten scheint wegen der Möglichkeit, die Polarisation so gut wie ganz auszuschliessen, die Anwendung einer concentrirten Lösung von schwefelsaurem Kupfer. Dabei hat man aber mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, weil die so leicht herausfallenden Krystalle bei der unvermeidlichen Verdampfung des Wassers sehr schnell die enge Röhre verstopfen und in beträchtlichen Höhen anfüllen,

ihre Gegenwart aber nicht bloß die Auf- und Abbewegung des Drahtes erschwert, sondern auch die Berechnung des Leitungswiderstandes in hohem Grad unsicher macht.

Etwas mehr verdünnte Lösungen, bei welchen noch die Polarisation zu vernachlässigen wäre, eignen sich ebenfalls wenigstens zu länger fortgesetzten Versuchsreihen nicht, weil es zu schwer fällt, ihren Concentrationsgrad ganz genau gleich zu erhalten, mit dessen geringem Wechsel sich schon in erheblicher Weise der Leitungswiderstand ändert.

Diese Flüssigkeiten habe ich nur in einzelnen Fällen in Anwendung gebracht, und wird dieselbe in der That auch nur da gefordert, wo es sich um ganz genaue absolute Werthbestimmungen handelt. Bei der grösseren Anzahl von Versuchen, bei welchen es nur auf die Vergleichung der unter sonst constanten Bedingungen gewonnenen Resultate ankommt, dürfte die ausserdem bequemste Füllung mit destillirtem Wasser Platz greifen.

Abstrahirt man vorläufig von dem Maass der Polarisation, welche sich bei seiner Anwendung in unserem Apparat geltend macht, so berechnet sich der Widerstand in dem damit construirten feuchten Rheostaten folgendermassen:

Der spezifische Leitungswiderstand des destillirten Wassers wird nach Pouillet's Bestimmungen 400 mal grösser angenommen als der der concentrirten Kupfervitriollösung von 15° Wärme. Die concentrirte Kupfervitriollösung selbst aber leitet 16 Millionen mal schlechter als das reine Kupfer des Normaldrahtes. Demnach ist der spezifische Leitungswiderstand des destillirten Wassers

$$= 6400000000 = s.$$

Der Querschnitt der Rheostatenröhre q ist $= 9,07 \square$ Millimeter.

Hieraus berechnet sich der auf Meter des Normaldrahtes von Kupfer und von 1 □ Millimeter Querschnitt reducirte Leitungswiderstand des Wassers (R) in 1 Centimeter Wassersäule unseres Rheostaten nach der Formel

$$R = s \frac{l}{q}$$

in welcher l die Höhe der Flüssigkeitssäule bezeichnet.

Für unseren Apparat ist $R = 7056000$ Meter Normaldraht bei je einem Centimeter Höhe der Wassersäule.

Die geographische Meile zu 7423,64 Meter gerechnet, entspricht also 1 Centimeter Rheostatenablesung 950,477 geographische Meilen Normaldraht. Wenn man erfährt, dass es Stufen der Erregbarkeit bei den Nerven gibt, bei welchen trotz der Einschaltung von 280 Centim. Wasser unseres Rheostaten doch noch Zuckungen durch das Unterbrechen des galvanischen Stromes erzeugt werden können, wobei man also den Normaldraht fast 50 mal um den Erd-Aequator herumschlingen müsste, um den gleichen Widerstand im Schliessungsbogen zu erzeugen, wollte man ihn rein metallisch machen, so sieht man, dass zu derartigen Untersuchungen nur ein feuchter Rheostat benützt werden kann.

Es bedarf keiner Erwähnung, dass man sich sowohl an dem Froschpräparat selbst als an sehr empfindlichen Multiplicatoren zum Oefftesten überzeugte, dass in dem complicirten Schliessungsbogen nicht selbst elektromotorische Kräfte thätig waren, was man bei Ausschluss der Kette k hätte finden müssen, wenn man die Endpunkte der ganzen Leitung mit dem einen oder anderen Rheometer verband.

Unter Rücksichtnahme auf die übrigen Grössen der Ohm'schen Formel könnten die so ermittelten Zahlen der Leitungswiderstände in dem Rheostaten sofort zur Berechnung der Stromstärken verwendet werden,

welche bei einer jeden einzelnen Beobachtung in Anwendung gebracht worden, wüsste man nicht, dass das Auftreten der Polarisation selbst bei schwachen Säuren der Kette Berücksichtigung verdient.

Dürfte auch angenommen werden, dass bei der Verdünnung, in welcher wir die Säuren anwandten (Schwefelsäure mit einem spezifischen Gewicht von 1,037, Salpetersäure von 1,155 spezifischem Gewicht), bei dem äusserst geringen Querschnitt der Drahtenden, welche innerhalb der Flüssigkeit gegen einander bewegt wurden, die Polarisation gering ausfallen müsse, zumal die Dauer der Ströme stets nur eine sehr kurze war, so schien es doch nothwendig zu erfahren, wie weit sie sich in der Flüssigkeitssäule erstreckte, und wie gross sie beiläufig wäre.

Ich bediente mich dazu eines Galvanometers mit 7200 Windungen und astatischem Nadelpaar, und experimentirte auf zweierlei Weise. Die Anordnung, wie sie bei der einen Methode gewählt wurde, erkennt man aus der schematischen Figur (Sch. 1 Tab. I.), wo Rh den Rheostat, M den Multiplicator, w die Wippe, E das Grove'sche Element, a, bc und die übrigen Curven die metallische Drahtleitung bezeichnet. Zuerst wurde der Rheostaten-Draht bis zu einer gewissen Tiefe in die Wassersäule eingesenkt, die Wippe so gestellt, dass der Strom von c durch sie nach b ging. Der Draht a war ausgeschlossen. Nun wurde gewartet, bis die Ablenkung der Galvanometer-Nadel constant geworden. War diess erfolgt, so bewirkte das Umlegen der Wippe, dass der Draht b ausgeschaltet, der Draht a dagegen in die Leitung eingeschaltet wurde. Der dabei erfolgende Rückschwung der Nadel verglichen mit dem in einem gleich darauf angestellten Parallelversuch, bei welchem der Draht b einfach ausgeschaltet wurde, ohne dass a an seine Stelle trat, musste durch seine grössere Excursion die Gegenwart einer Polarisation anzeigen. War die feuchte Widerstandssäule im Rheostaten 82 Centimeter lang, so erhielt man in beiden Fällen genau 11° als äusserste

Grenze des Rückschwunges, anders dagegen, als die Wassersäule bis auf 5 Centimeter verkürzt wurde. Dabei war die Grenze des Rückschwunges

im ersten Fall 74° im zweiten Fall 39°

Sie schwang also getrieben durch den dabei vorhandenen Polarisationsstrom um 35° weiter als ohne seine Gegenwart.

Nach diesen Versuchen wurde eine zweite Anordnung getroffen (Sch. 2). Zuerst wurde der Strom des Elementes E eine bestimmte und jedesmal die gleiche Zeit an dem Galvanometer M durch c d vorbeigeleitet, indem b aus der Drahtleitung ausgeschlossen war. Hierauf wurde die Wippe umgelegt, dadurch die Leitung a e unterbrochen, dagegen die Leitung b e hergestellt.

Der jetzt zur Wirksamkeit kommende Polarisationsstrom musste sofort durch den Multiplicator gehen, und seine Nadel ablenken.

Der Draht des Rheostaten konnte bis zu dem 50. Centimeter herabgeschoben werden, ohne dass sich das geringste Zeichen eines Polarisationsstromes auffinden liess.

Bei 40 Centimeter Wassersäule betrug die Ablenkung	$2,5^{\circ}$
23	8°
10	19°
5	35°
2	55°
1	70°

Aus dieser Beobachtungsreihe ist ersichtlich, dass man die Rheostatenablesungen jenseits des 50. Centimeters unmittelbar zur Berechnung von 1 nach ihrem oben gefundenen für je ein Centimeter gelten-

den Werth benützen darf. Unterhalb dieser Grenze erwächst aber je einem Centimeter ein bestimmter Zuschuss des Widerstandes, in Folge dessen die Stromstärke in höherem Grad vermindert wird, als die blosse Berücksichtigung des Leitungswiderstandes finden liesse. Die Bestimmung der Grösse dieses weiteren Widerstandes verlangt die Graduirung des Multiplicators, wenn man überhaupt die Füllung des Rheostaten mit Wasser zu absoluten Maassbestimmungen der Stromstärke verwenden will.

Die Stromstärke S ist bekannt, wenn man die Werthe von e , elektromotorische Kraft, l Widerstand des Schliessungsbogens, und λ , Widerstand in der Kette ermittelt hat, denn: $S = \frac{e}{\lambda + l}$.

Für vergleichende Versuche fragt es sich, ob der Werth von λ durchaus und streng constant erhalten werden müsse, wenn man einen feuchten Leiter im Schliessungsbogen eingeschaltet hat. Schon aus der Formel ist ersichtlich, dass man dabei in nicht sehr engen Grenzen zu bleiben gezwungen ist, sobald der Werth von λ anfängt, verschwindend klein gegen den von l zu werden.

Diess findet in unserem Fall aber statt.

Die Füllungen der Elemente, welche zu unseren Zwecken verwendet wurden, boten je nach den Concentrationsgraden einen Leitungswiderstand von 4,8; 10,11; 13,34; 57,7 Meter Normaldraht entsprechend, und wenn man annimmt, dass bei einigen Versuchen, bei welchen ganz schwach angesäuertes Wasser dazu verwendet wurde, wegen der Schwäche des Stromes an der Tangentenboussole aber keine Ablenkung bemerkbar, und desshalb keine Berechnung von λ zulässig war, der Widerstand in der Kette auch 100 Meter Normaldraht entsprochen hätte, so sind diess verschwindend kleine Grössen gegen die nur in wenigen Centimeter Wasserhöhe unseres Rheostaten vorkommende Widerstände, welche zu dem l der Formel gehören.

Diese theoretische Betrachtung hat sich bei zweierlei Versuchen vollkommen bestätigt, einmal am Froschpräparat selbst, und dann am Galvanometer. Wenn es bei Fröschen, welche längere Zeit in Gefangenschaft gehalten worden waren, vorkam, dass ihre Muskeln nur noch zuckten, wenn die Widerstandssäule des Rheostaten bis auf 20 oder 25 Centimeter verkürzt worden war, so blieb sich diess gleich, wenn man nach und nach den Grove'schen Becher auch mit den stärksten Säuren füllte. Man durfte den Rheostatendraht nicht um eine Linie höher hinaufziehen, wenn nicht sofort die Reizung unwirksam werden sollte. Diesen Erfolg, welcher ohne Berücksichtigung der Ohm'schen Formel frappiren musste, habe ich mit der astatischen Nadel controlirt.

Ich wandte einen mit Kupfervitriollösung gefüllten Rheostaten an, dessen Röhre nur einen Querschnitt von 3,6 □ Millimetern hatte. Das Grove'sche Element wurde dreimal, immer aber bis zu der gleichen Höhe, mit verschiedenen Säuren gefüllt. Das Erstemal mit kaum angesäuertem Wasser diesseits und jenseits des Diaphragmas, wobei seine unmittelbare Verbindung mit der Tangentenboussole gar keine Ablenkung hervorrief. Das Zweitemal mit verdünnter Schwefel- und Salpetersäure, das Drittemal mit concentrirteren Säuren. In den beiden letzten Fällen verhielten sich die Tangenten der Ablenkungswinkel wie 1 : 3,6.

In allen Fällen wurde so experimentirt, dass der Strom, welcher den Rheostaten und den Draht des mit 7200 Windungen versehenen Multiplicator durchsetzen musste, die gleiche Nadelablenkung hervorrief. Während also der Gang der Nadel beobachtet wurde, schob man den Draht des Rheostaten herab, und las nachträglich, nachdem die Nadel jedesmal auf dem bestimmten Grad stehen geblieben war, die Höhe der Flüssigkeitssäule am Rheostaten ab.

In den drei Versuchsreihen zeigte sich genau die gleiche Höhe

erforderlich. Bei Anwendung sowohl der ganz schwachen als der starken Säuren verlangte

der Nadelausschlag von	2,5°	280,6	} Millim. Flüssigkeitssäule.
"	4°	152,4	
"	5°	100,9	

Daraus erwächst der grosse Vortheil für vergleichende Reizversuche, dass man bei der Strom erzeugenden Kette an kein so genaues Aufrechterhalten der gleichen Widerstände in ihr gebunden ist. Trotzdem habe ich diess in allen vergleichenden Versuchen zu erreichen gesucht, um auch bei sehr niedrigen Rheostatenständen möglichst kleine Fehler zu bekommen.

Aehnlich verhält es sich auch mit dem metallischen Theil des Schliessungsbogens. Bei unseren Apparaten kommen im Ganzen 2—3 Meter schon etwas dickerer Drähte in Anwendung, deren Leitungswiderstand erst bei den niedrigsten Rheostaten-Ständen und auch da nur in sehr untergeordneter Weise Berücksichtigung verdient. Desshalb ist bei vergleichenden Versuchen ihre Länge vollkommen constant erhalten worden.

Zur Ermittlung der Stromstärken und aller auf sie influirenden Grössen wurde eine sehr genau gearbeitete Tangentenboussole aus der Werkstätte unseres Mechanikers Stollenreuther benützt. Ich habe dieselbe nach den von Gaugain und Bravais*) entwickelten Prinzipien construiren lassen. Nach denselben wird der bei den gewöhnlichen Instrumenten nicht unerhebliche Fehler in der Proportionalität zwischen Stromintensität und Tangente des Ablenkungswinkels auf ein Minimum reducirt; er wird nicht grösser als $\frac{1}{1250}$, wenn das Verhältniss der Na-

*) Compt. rend. T. XXXVI pg. 191 und pg. 193.

dellänge zum Halbmesser des galvanischen Kreisstromes 1 : 6 ist. Ist jene $\frac{1}{3}$ des Durchmessers von diesem, so übersteigt der Fehler nicht $\frac{1}{600}$.

Die Verbesserung der Tangentenboussole beruht nach jenen Forschern darauf, dass man die Boussole nicht in der Mitte des Kreisstromes aufstellt, sondern abseits dessen Ebene und zwar so, dass der Drehpunkt der Nadel von der Ebene des Stromes um einen Viertel-Durchmesser des Stromes absteht, wobei der Mittelpunkt der Nadel auf einer Linie liegen muss, welche senkrecht zur Ebene des Kreisstromes dessen Mittelpunkt berührt.

Bei dem Spiel der Nadel ist für jede der beiden gebräuchlichen Arten eine Fehlerquelle zu fürchten. Balancirt sie auf einer Spitze, so ist es die Reibung, hängt sie an einem Coconfaden, so ist es die Excentricität. Letztere ist für die Genauigkeit des Instrumentes noch gefährlicher. Ich habe beide Fehlerquellen durch folgende Einrichtung zu beseitigen gesucht. Die Nadel hängt an einem langen nach Du Bois's Vorschrift mit Seifenwasser gekochten einfachen Coconfaden. Von der unteren Seite ihrer Fassung hängt ebenfalls an einem solchen, aber kürzeren Faden ein kleiner Senkel herab; der Faden geht nämlich durch ein Loch im Boden der Boussole. Diese selbst steht auf einer durchbrochenen Säule, auf deren oberem Querschnitt eine feine Spitze hervorragt. Diese und der Aufhängepunkt der Nadel liegen genau in einer zur Grundfläche des Apparates senkrechten Linie. Durch eine solche Einrichtung lässt sich jeder Zeit controliren, ob sich der Drehpunkt der Nadel im Centrum der auf einem Spiegel angebrachten Theilung befindet.

Schliesslich handelt es sich um die wichtigste numerische Grundbestimmung: um den spezifischen Leitungswiderstand der Nervensubstanz.

E. Weber muss als der Erste genannt werden, welcher mit zuverlässigeren Methoden den spezifischen Leitungswiderstand der Nerven zu

ermitteln gesucht hat. Gleichwohl verlangte diese Untersuchung eine Wiederholung, weil zu jener Zeit die Polarisation noch nicht näher gekannt war, und deshalb Zahlen gewonnen werden mussten, welche möglicher Weise noch etwas mehr von der Wahrheit entfernt sind, als sich bei Berücksichtigung der Polarisation gewinnen lassen.

Matteucci's hieher gehörige Versuche beziehen sich auf eine Vergleichung der Leitungswiderstände verschiedener thierischer Gewebe unter einander, ebenso Eckhard's Untersuchungen, bei welchen die von Matteucci übersehenen Fehlerquellen zu vermeiden gesucht worden sind.

Ich hatte es ausschliesslich mit den Froschnerven zu thun, und zugleich für die Vergleichung vieler Reizversuche unter einander nur mit einem Nerv, dem Ischiadicus. Für diesen also allein gelten die nachfolgenden Resultate. Die Schwierigkeit des Experimentes verlangt eine genaue Beschreibung der Methode, nach welcher verfahren wurde.

Die Apparate, welche dabei in Anwendung kamen, waren ein Grove'scher Becher, dessen wesentlicher Widerstand im Mittel 50 betrug, ein Galvanometer mit astaticem Nadelpaar und 7200 Windungen, ein Rheostat mit Kupfervitriollösung gefüllt, und mit einer Röhre, deren Querschnitt 3,624 □ Millimeter gross war, und der Auflagerungsapparat.

Dieser ist in Fig. 2 abgebildet, und muss zuerst beschrieben werden.

Auf dem Tischchen A befinden sich die beiden Träger C C', von welchen C' fest, C in horizontaler Richtung längs des Schlitzes S verschiebbar, und durch die Mutter B in bestimmter Entfernung von C' festzustellen ist. In den Höhlungen der beiden Träger sind zwei Glasröhren D D' mit einem Durchmesser von 13 Millimeter eingekittet. Die Aussenflächen beider Glasröhren sind zwischen C und C' matt geschliffen, ebenso wie die Innenfläche der genau schliessenden Schutzröhre E, welche bis

zu dem freien Rand der einen oder anderen Glasröhre (D oder D') zurückgeschoben werden kann.

Die beiden Glasröhren enthalten den feuchten Leitungsbogen. Er besteht aus Hollundermark, welches zuerst so lange in destillirtem Wasser gekocht worden ist, bis alle Luft ausgetrieben war, und bis es im Wasser untersank. Acht bis zehn Tage bleibt es im Wasser liegen; dann wird es herausgenommen und in ein Gefäss mit Hühnereiweiss gelegt. Darin bleibt es 24 Stunden lang. Das Stück ausserhalb der Säulen wird vor F und F' mit dickem, vollkommen mit flüssigem Eiweiss durchtränktem Baumwollendocht G G' vielfach umwunden. Der Baumwollendocht selbst, in den Glasröhren k k' eingeschlossen, taucht in die Gefässe H' H', welche concentrirte Kupfervitriollösung und Krystalle des gleichen Salzes enthalten.

Gleichzeitig tauchen in diese Lösung die Enden der Zuleitungsdrähte J und J'. Sie sind mit Seide übersponnen, ausserdem, so weit sie im Bereich der Schälchen sich befinden, in Siegellack eingehüllt, so dass je nur ihre äusserste stets blank gehaltene Spitze, eigentlich also nur ihr metallischer Endpunkt mit der Salzlösung in Berührung kommt.

Die beiden Hollundermarkstücke sind, wo sie einander gegenüber stehen, regelmässig keilförmig zugeschnitten, wie man es in der Zeichnung sieht, und ragen je etwa 4 Millim. über den Rand des Glasröhrchens vor, in welchem sie unverschiebbar befestigt sind.

Nachdem die Kanten der beiden Hollundermark-Keile genau in eine Entfernung von 5 Millimeter gebracht worden, wird der möglichst rasch präparirte Nerv, dessen Befleckung mit Blut vollkommen vermieden ist, über den Zwischenraum beider Keile herübergebrückt, nachdem auf die letzteren, je 2 Millimeter entfernt von ihrem freien Rand, dünne Glimmerblättchen aufgelegt worden, um die Querschnitte des Nerven vor der gleichzeitigen Berührung mit dem Zuleitungs-Mark zu schützen.

So wie der Nerv aufliegt, wird über ihn her die Röhre E von D nach D' hinüberschoben und dadurch jede Verdunstung verhütet.

Vor und nach jeder zur Berechnung verwendeten Bestimmung ist eine Reihe von Beobachtungen anzustellen, durch welche die Zulässigkeit der Bestimmung geprüft werden muss.

Ueberblicken wir das in Sch. 3 versinnlichte Arrangement des ganzen Versuches.

Von dem Auflagerungsapparat A A geht eine Drahtleitung durch α nach der Wippe w; von dort eine zweite ϵ unmittelbar zu dem Galvanometer G; eine dritte $\eta \eta$ eben dahin, aber unterbrochen von dem feuchten Rheostaten Rh. Von dem Galvanometer kann je nach der Stellung der Wippe w' der Strom des Elementes E durch die Verbindung der Drähte δ und γ mit α' in den ganzen Kreis hereingezogen werden; oder es bleibt das Element ganz ausser Spiel, wenn der Draht β mit α' durch die Wippe metallisch verbunden wird. Eine dritte Wippe w'' schaltet durch die Seitenverbindung ϑ das Galvanometer aus oder ein.

Durch die geeigneten Einstellungen der Wippe und durch Entfernen des Nerv und Aneinanderstossen der Hollunderkeile können, wie man sieht, mit grosser Schnelligkeit folgende Fragen erledigt werden:

- 1) Finden sich in der ganzen Vorrichtung ausser dem Element noch elektromotorische Kräfte thätig?
- 2) Ist ein irgend erheblicher Nervenstrom mit im Spiel?
- 3) Findet sich irgendwo ein nennenswerther Polarisationsstrom?

Sind nämlich die Hollundermark-Kanten aneinander gestossen, die Wippe w' so gestellt, dass α' mit β verbunden ist, so darf weder bei Ausschaltung noch bei Einschaltung des Rheostaten durch die Wippe w

der Stand der Nadel im Geringsten verändert werden; sonst sind elektromotorische Kräfte im Schliessungsbogen vorhanden.

Liegt der Nerv N über dem Auflagerungsapparat, so muss bei der gleichen Stellung der Wippe w' wiederum die Nadel in Ruhe bleiben, weil sonst Ströme des Nerv selbst das Ergebniss der Beobachtung trüben.

Wird die Wippe w' so gestellt, dass der Draht β ausgeschaltet ist, dann wird der Strom in die Leitung eingeführt, und zwar bei dem einen Stand der Wippe w'' so, dass er an dem Multiplicator vorbeigeht. Gleichzeitiges Umlegen der beiden Wippen schliesst das Element aus, und lässt den etwa vorhandenen Polarisationsstrom durch den Multiplicator gehen. Je nach dem Stand der Wippe w kann, wenn er vorhanden ist, der Ort seines Entstehens ermittelt werden.

Trotzdem, dass diese Einrichtung erlaubt, mit grosser Leichtigkeit über jene Fragen zu entscheiden, so verlangen die Beobachtungen doch Zeit, und da die massgebenden Versuche an ein und demselben Nerv immer ein paarmal gemacht werden müssen, so ist der Einfluss der Zeit selbst zuerst zu ermitteln. Er kommt desswegen in Betracht, weil möglicherweise im Auflagerungsapparat Wasserverdunstungen eintreten könnten, weil kleine Veränderungen in der Gleichartigkeit des Leitungsbogens entstehen könnten, weil der Strom des Elementes Veränderungen erfahren könnte.

Legt man einen Froschnerv auf den Auflagerungsapparat, ohne die Schutzröhre über ihn herzuschieben, so kommt die Magnetnadel zu keinem festen Stand. Ihre Ablenkung ändert sich immer und immer wieder, bis die Austrocknung ihr höchstes Maass erreicht hat.

Schwankungen des Stromes in der Kette sind schon von vornherein weniger zu fürchten. Seine Stärke nach Abzug aller Widerstände im

Schliessungsbogen betrug im Durchschnitt, in chemischem Maass ausgedrückt: 6,1, eine Grösse, welche so gut wie keine Schwankungen erwarten lässt.

Der direkte Versuch entschied hierüber auch vollkommen. War die Schutzröhre über den Nerv geschoben, so kam die Nadel sehr bald zu einer constanten Ablenkung, welche sich zu wiederholten Malen $\frac{1}{4}$ Stunde und länger ohne die geringste Veränderung behauptete. Die Beobachtung der Magnetnadel geschah an ihrem Spiegelbild mit dem Fernrohr aus einer Entfernung von c. 17'.

Das Prinzip, den spezifischen Leitungswiderstand der Nerven zu finden, beruht darauf, zu vergleichen wie gross die Dimensionen einer Flüssigkeitssäule von bekanntem Leitungswiderstand seyn müssen, um die Ablenkung der Magnetnadel genau so gross werden zu lassen, als sie bei Vertauschung der Flüssigkeit mit einem Nerv von gemessenen Dimensionen ist.

Es setzt diess die Kenntniss des spezifischen Leitungswiderstandes der zum Vergleich gewählten Flüssigkeit, die Kenntniss der Dimensionen ihrer Säule für jeden einzelnen Fall, und die Kenntniss der Dimensionen des untersuchten Nervenstückes voraus.

Die angewandte Flüssigkeit war eine concentrirte Lösung chemisch reinen schwefelsauren Kupferoxyds zum fünffachen Volumen mit Wasser verdünnt.

Nach Becquerel's Untersuchungen ist im Vergleich mit Silber der Leitungswiderstand

der concentrirten Lösung . . . = 18450000,

der zum vierfachen Volum verdünnten = 48080000

für die mittlere Temperatur von $+ 15^{\circ}$.

Zur Ermittlung des Leitungswiderstandes der von mir gewählten Verdünnung benützte ich einen Differenzialrheostaten, dessen Einrichtung die Säulen zweier mit einander zu vergleichenden Flüssigkeiten so zu reguliren erlaubte, dass die Nadel des äusserst empfindlichen Galvanometers entweder auf den gleichen Grad der Ablenkung gebracht oder an dem Nullpunkt gehalten werden konnte, wenn die Abzweigung der Ströme nach dem Prinzip von Wheatstone's Differenzial-Widerstandsmessers geschah.

Das Mittel aus den hierüber angestellten Versuchen ergab für die zum fünffachen Volumen verdünnte Lösung des schwefelsauren Kupferoxyds im Vergleich mit Silber den Werth des Widerstandes von 58456142.

Der Querschnitt der damit gefüllten Röhre ward durch Berechnung aus den durch Wägung und Längenmessung gewonnenen Volumbestimmungen ermittelt und betrug:

3,624 □ Millimeter.

Die Längen der untersuchten Nervenstücke waren constant gleich gehalten, nämlich 5 Millim., entsprechend der jedesmaligen Entfernung der beiden Mark-Kanten des Auflagerungs-Apparates. Die Querschnitte der dazwischen befindlichen Nerven wurden aus einer möglichst grossen Anzahl von mikrometrischen Messungen der Durchmesser berechnet, deren Mittel gezogen worden war. Verdunstung während der Messung, so wie Druck wurde vollkommen fern gehalten, die Querschnitte aber als Kreisflächen betrachtet.

Die Bestimmung der letzteren bleibt stets die am schwierigsten zu ermittelnde Grösse, und kann kaum je mehr als annäherungsweise festgestellt werden. Die Nervenstückchen sind zu klein, als dass man auch unter Voraussetzung eines immer gleich grossen spezifischen Gewichtes

aus Länge und absolutem Gewicht nach Webers Vorgang den mittleren Querschnitt sicherer bestimmen könnte, als durch die mikrometrische Messung.

Dieser Umstand ist es, welcher neben den schwankenden Mengen von Wasser, welches die Nerven im normalen Zustand führen, immer gewisse Differenzen in den Resultaten erzeugt, und verlangt, dass man sich mit einem Mittelwerth aus grösseren Versuchsreihen begnüge.

Ich werde nun das Verfahren näher beschreiben, welches ich einschlug, sodann die Resultate der einzelnen Beobachtungen und endlich die Berechnung des spezifischen Leitungswiderstandes darlegen, welcher sich daraus ergab.

Es sind nur diejenigen Beobachtungen aufgenommen, deren Richtigkeit durch die oben erwähnten Controlversuche hinlänglich verbürgt war.

Nachdem die Kanten der Mark-Keile durch die Stellschraube B (Fig. 2) in einer Entfernung von 5 Millimetern fixirt waren, wurde der möglichst rasch und sauber präparirte Nerv geradlinig, aber unter Vermeidung von Spannung, über ihren freien Raum gebrückt, und zwar mit allen den Vorsichtsmaassregeln, keinen Strom des Nerv selbst zur Wirksamkeit kommen zu lassen, welche, um diess zu vermeiden, nach Du Bois's Untersuchungen gefordert sind.

Sobald diess geschehen war, wurde über den Nerv her die Schutzröhre geschoben, wobei zu vermeiden ist, dass sich irgendwo zwischen den Berührungsflächen von D D' und E Flüssigkeit befindet. Die Stellungen der Wippen war so, dass jetzt bei Einschaltung des Elementes der Strom den Nerv passiren, den feuchten Rheostaten aber unberührt lassen musste.

Sofort wurde die Nadel abgelenkt. Nachdem sie zur Ruhe ge-

kommen, ihr Stand mit dem Fernrohr abgelesen und notirt war, wurde der feuchte Rheostat eingeschaltet, der Nerv entfernt; das Stück von ihm, welches als Brücke in dem Auflagerungsapparat gedient hatte, mikrometrisch gemessen. Während dieser Zeit wurden die Kanten der Mark-Keile bis zur Berührung aneinander gestossen, die Wippe umgelegt, die Schutzhöhre vorgeschoben und sodann der Draht des Rheostaten so lange regulirt, bis die Ablenkung der Nadel genau wieder den gleichen Winkel-Grad erreicht hatte. In allen Versuchen schwankte die Temperatur zwischen $+14$ und 17° .

Die Länge des untersuchten Nervenstückes, immer von dem Ischiadicus genommen, war in allen Versuchen, wie oben erwähnt, stets genau gleich, nämlich 5 Millimeter.

In der ersten Columne der nächstfolgenden Tabelle sind die aus den mikrometrischen Messungen gewonnenen mittleren Durchmesser verzeichnet, in der zweiten die Winkelwerthe der Nadelablenkung, in der dritten nach Millimetern die Höhen der eingeschalteten Kupfervitriollösung, deren Säule einen Querschnitt von $3,624 \square$ Millimeter hatte.

Bezeichnung des Nervenstückes.	Mittlerer Durchmesser des Nerv D	Ablenkung der astatischen Nadeln	Höhe der Flüssigkeitssäule im Rheostaten L
1) obere Hälfte	0,6875	60	348,301
2) obere Hälfte	0,7	58,5	436,385
3) untere Hälfte	0,771875	62	333,061
4) obere Hälfte	0,752075	65	295,469
5) untere Hälfte	0,69575	59	462,465
6) obere Hälfte	0,8625	67	240,4249
7) untere Hälfte	0,935375	68,5	223,6598

Bezeichnung des Nervenstückes	Mittlerer Durchmesser des Nerv D	Ablenkung der astatischen Nadeln	Höhe der Flüssigkeitssäule im Rheostaten L
8) obere Hälfte	0,715625	61,7	407,5918
9) untere Hälfte	0,70	60	450,455
10) obere Hälfte	0,91875	70	192,710
11) untere Hälfte	0,7375	64,5	318,6338
12) obere Hälfte	0,85625	67	251,273
13) untere Hälfte	0,678125	57,8	502,6152
14) obere Hälfte	0,870	67	251,273
15) untere Hälfte	0,65469	58	500,700

Vor Allem mussten die Widerstände der Flüssigkeit im Rheostaten auf Längen des Normaldrahtes (Silber) von 1 □ Millim. Querschnitt berechnet werden. Die Formel hierfür ist bekanntlich

$$R = \frac{L}{q} S$$

wobei L die in Meter ausgedrückte Länge der Widerstandssäule, q ihr Querschnitt, S ihr spezifischer Leitungswiderstand ist.

q hat den constanten Werth von 3,624 □ Millim.

S den constanten Werth von 58456142, weil innerhalb sehr geringer Temperaturschwankungen experimentirt wurde.

Wir erhalten hiernach folgende Reihe:

0,715625	61,7	407,5918	1) obere Hälfte
0,70	60	450,455	2) untere Hälfte
0,91875	70	192,710	3) obere Hälfte
0,7375	64,5	318,6338	4) untere Hälfte
0,85625	67	251,273	5) obere Hälfte
0,678125	57,8	502,6152	6) untere Hälfte
0,870	67	251,273	7) obere Hälfte
0,65469	58	500,700	8) untere Hälfte

Versuchsnummer.	L (Meter)	R (in Meter Silberdraht)
1	0,348301	5618193
2	0,436385	7039011
3	0,333061	5372368
4	0,295469	4765998
5	0,462465	7459690
6	0,2404249	3878210
7	0,2236598	3607696
8	0,4075918	6574571
9	0,450455	7264965
10	0,192710	3108466
11	0,3186338	5139652
12	0,251273	4053104
13	0,5026152	8107326
14	0,251273	4053104
15	0,500700	8076414

Um den spezifischen Leitungswiderstand des Ischiadicus mit dem des Silbers vergleichen zu können, wird es nöthig, die für Nervenstücke von 5 Millimeter Länge und verschiedenen Querschnitten gefundenen Widerstände auf Nerven von 1 Meter Länge und 1 $\square$ Mill. Querschnitt zu reduciren. Unter der Voraussetzung, dass für die organisirten Substanzen dasselbe Gesetz gilt wie für Flüssigkeiten und Metalle, dass nämlich der Leitungswiderstand direkt proportional wächst mit der Länge und umgekehrt proportional mit dem Querschnitt, wird derselbe in den Nerven mit den reducirten Dimensionen um so viel mal vergrößert als die 5 Millim. langen Stücke kürzer sind wie 1 Meter, und zugleich um so viel verringert, als ihre Querschnitte kleiner sind wie 1 $\square$ Millim.

Nennen wir demnach S den spezifischen Leitungswiderstand eines Nervenstückes von 1 Meter Länge und 1 $\square$ Millim. Querschnitt, so finden wir seinen Werth nach der Formel

$$S = R \frac{1}{\frac{4}{\pi r^2}}$$

Da die Längen der Nervenstücke in allen Versuchen gleich gross gemacht worden waren, so ist $\frac{1}{r^2}$ eine constante Grösse $= 200$; logarithmisch bekommt die Formel also die Gestalt:

$$(\lg 200 + \lg R) = (\lg 1 - \lg q)$$

q , der jedesmalige Querschnitt, musste aus den gemessenen mittleren Durchmessern berechnet werden. Darnach ergab sich folgende Zusammenstellung:

Versuchsnummer.	r	q	S
1	0,34375	0,3712233	417120900
2	0,35	0,3848450	541785800
3	0,3859	0,4685802	503477000
4	0,3760375	0,4442345	423444100
5	0,347875	0,3801863	567214500
6	0,43125	0,5842625	453179600
7	0,4676875	0,6871656	495817000
8	0,3578125	0,4022174	528881500
9	0,35	0,3848450	559254100
10	0,459375	0,6629560	412155300
11	0,36875	0,4271830	439114400
12	0,428125	0,5758258	466776200
13	0,3390625	0,3611692	585621700
14	0,435	0,5944681	481888100
15	0,32734375	0,3366341	543760400

Zieht man aus allen diesen Versuchen das Mittel, so erhält man für S die Zahl

$$496632707.$$

Nun weiss man aus Becquerel's Untersuchungen, dass der Leitungswiderstand einer gesättigten Lösung des schwefelsauren Kupferoxyds gegen den des Silbers

$$= 18450000$$

ist; ferner dass nach Pouillet's Bestimmungen das Wasser 400 mal schlechter leitet als jene Lösung. Der Leitungswiderstand des Wassers wird demnach

$$= 7380000000.$$

Mit dem oben gefundenen Mittelwerth für S in diese Zahl dividirt, gibt den Quotienten, welcher sagt, dass die Nervensubstanz des Ischiadicus der Frösche im Mittel

14,86 mal besser leitet als destillirtes Wasser.

Die vorkommenden Schwankungen bewegen sich zwischen den Extremen:

$$12,6 \text{ und } 17,8.$$

Es sind in den Nerven Salzlösungen und verbrennbare Verbindungen vorhanden. Unter den ersteren befinden sich solche, deren spezifisches Leistungsvermögen bekannt ist, nämlich das der Kochsalzlösung.

Nach Becquerel ist der Leitungswiderstand der gesättigten Lösung:

$$3173000,$$

in vierfacher Verdünnung $7864000;$

also bedeutend geringer als der der Kupferlösung von gleichem Concentrationsgrad.

Um einigermaßen den Einfluss kennen zu lernen, welchen die

verbrennbare organische Substanz auf die Erhöhung des Leitungswiderstandes der in den Nerven enthaltenen Salzlösung ausübt, verfuhr ich folgendermassen.

Ich äscherte Nervensubstanz ein, bestimmte die Gewichtsmenge der geglühten und von Kohle befreiten Asche, löste dieselbe in Wasser unter Zusatz von möglichst wenig Salzsäure auf, und stellte unter weiterem Hinzufügen von einer berechneten Wassermenge eine Lösung her, welche dieselben procentischen Mengenverhältnisse von Asche und Wasser bot, wie sie im Durchschnitt bei den Nerven angetroffen wird. Das spezifische Gewicht dieser Lösung war 1011.

Ich füllte mit dieser Lösung den Rheostat und liess durch ihn, so wie durch die 7200 Windungen des Galvanometers mit astatischem Nadelpaar, den Strom eines einfachen Grove'schen Bechers gehen, welcher mit äusserst schwachen Säuren gefüllt war.

Es wurden solche Ablenkungswinkel zu erzeugen gesucht, bei welchen die eingeschaltete Flüssigkeitssäule nicht unter 100 Centim. betrug, wobei man also dem Gebiet der Polarisation, wie die Voruntersuchungen gezeigt hatten, vollkommen fern blieb.

Es wurden drei verschiedene constante Ablenkungswinkel durch Veränderung der Widerstände erzeugt, dieselben mehrmal wiederholt, bis man sicher für jede Ablenkung den zugehörigen Rheostatenstand ermittelt hatte. War diess bei der einen Füllung des Rheostaten geschehen, so wurden seine Röhren entleert, mit der zweiten vollkommen ausgespült, und schliesslich mit ihr gefüllt. Alle Drahtverbindungen und Drahtlängen blieben unberührt; von der Constanz der Kette war man für die ganze Versuchsdauer überzeugt, und nun wurden die gleichen Ablenkungen durch Regulirung der neuen Widerstände wieder zu erzeugen gesucht.

Die Widerstände der zum fünffachen Volumen verdünnten Kupfer-
vitriollösung verhielten sich zu denen der Nerven-Salzlösung (letzttere
= 1 gesetzt) wie

1) 1,069

2) 1,092

3) 1,093

im Mittel also wie 1,085.

Daraus wird der spezifische Leitungswiderstand der Lösung dieser
Salze in dieser Verdünnung

= 63424914 (verglichen mit Silber).

Der spezifische Leitungswiderstand des ganzen Nerv aber fand sich
= 496632707.

Es ist also durch Einschaltung der verbrennbaren Stoffe: Eiweiss
und Fett, der Leitungswiderstand jener Salzlösung um das 7fache ver-
grössert.

Dadurch erhält man aber nicht etwa einen Maasstab für den Lei-
tungswiderstand jener Stoffe, sondern der Vergleich beider Zahlen sagt
nur aus, dass durch die Einschaltung derselben zwischen die Theilchen
der Salzlösung der Leitungswiderstand des ganzen Nerven ein 7mal
grösserer wird. Aehnlich wie wenn man einen soliden Metallstab mit
einem Pulver des gleichen Metalles und in die gleiche Form gebracht in Be-
ziehung auf das Leitungsvermögen vergleichen wollte, woraus sich eben-
falls kein direkter Schluss auf das der Luft ziehen liesse, welche die
Metalltheilchen in einer grösseren Entfernung von einander hält, als sie
sich in dem soliden Metallstab befinden.

Jedenfalls verdanken die Nerven die Leitungsfähigkeit, welche sie
überhaupt haben, hauptsächlich den Salzlösungen, welche in ihnen sind.

Die Concentration derselben ist keineswegs in ihnen gleich; so weit die Untersuchungen von Bibra*) reichen, schwanken die Aschenbestandtheile zwischen 0,63 und 1,16 % der frischen Nervensubstanz.

Wäre man im Stande genauer zu ermitteln, in welchem Maass die verschiedenen histologischen Elemente der Nervenfasern von der Salzlösung imprägnirt sind, ob an der einen Stelle vorwaltend diese, an der anderen vorwaltend jene Salze die Parenchymflüssigkeit bilden helfen, so würde man damit die frühere Streitfrage über die isolirenden Gewebstheile näher beleuchten können; und wenn auch von einer Isolirung im strengen Sinn des Wortes keine Rede seyn kann, doch die Differenzen der Leitungsgüte ermitteln, und damit vielleicht manche Widersprüche bei Reizversuchen**) erklären können. Doch diess zu entscheiden, ist bis jetzt wenig Aussicht vorhanden.

Nicht bloss in Beziehung auf das elektrische Leistungsvermögen ist die Menge des in den Nerven enthaltenen Wassers von Wichtigkeit, sondern auch in Beziehung auf die physiologische Leistungsfähigkeit. Was man hierüber bei quellenden und auch nur wenig ausgetrockneten Nerven erfährt, steht häufig in gar keinem Vergleich zu den Veränderungen, welche dabei das elektrische Leistungsvermögen zeigt.

Oft wechselt weder Stromstärke noch Stromdichte dabei in einem auch nur entfernt so hohem Grad als die Reizbarkeit.

Der Antheil, welchen an dem Wechsel der Letzteren die Veränderung der elektrischen Leitungsgüte hat, ist zwar ein ganz bestimmter, wie in der nächsten Abhandlung durch Zahlen bewiesen werden soll, aber das Wasser muss durch seine Mengenverhältnisse an sich schon einen wesentlichen Einfluss auf die Beweglichkeit der Nervenmoleküle haben.

*) Ann. Ch. Pharm. XCI. 4. **) Du Bois Reymond l. c. Bd. II. p. 275 ff.

Ein grosser Theil der Widersprüche, welche sich bei qualitativen Reizversuchen geltend gemacht haben, schreibt sich daher, dass der Wassergehalt der Nerven dabei nicht berücksichtigt wurde.

Nicht als wenn der Wassergehalt allein den Grad der Reizbarkeit bestimmen könnte, ist er doch einer der wichtigsten Momente für ihr Maass und ihre Natur.

Im normalen Zustand haben den höchsten Wassergehalt die Nerven der Frösche: im Mittel

76,3% der frischen Substanz;
bei den gesunden Menschen beträgt er im Mittel

67,93%;
bei den warmblütigen Thieren im Mittel

67,13%.

Differenzen von 7,4% Zunahme, und von 6,2% Abnahme erzeugen schon die extremsten Grade der Reizbarkeit *).

Doch ehe ich zu den methodisch durchgeführten Untersuchungen über die Bedeutung des Wassers in den Nerven übergehe, habe ich, um Wiederholungen zu vermeiden, zuerst das Schema eines Reizversuches mit dem in Fig. 1 Tab. 1 abgebildeten Apparat zu beschreiben.

Der Nerv wird vom Austritt aus dem Hüftloch an bis herab zur Kniekehle frei präparirt. Von dem Oberschenkel bleibt nichts an dem Präparat als das untere Gelenkende seines Knochens, in dessen Röhre der in doppeltem Winkel gebogene, vorn zugespitzte Draht eingestossen wird, welcher an dem Metallklotz (g in A) befestigt ist. Dieser, so

*) cf. Birkner „Das Wasser der Nerven in physiologischer und pathologischer Beziehung.“

wie der Draht sind mit dicken Schichten einer Siegellacklösung überzogen. Das obere Ende des enthäuteten Unterschenkels steht frei in der Oeffnung des Glastellers A t, die Zehen des Fusses ragen in den Raum der Glasglocke s, welcher durch Stücke angefeuchteten Löschpapiere f stets mit Wasserdampf gesättigt erhalten wird.

Durch eine zweite Oeffnung des Glastellers gehen die beiden Zuleitungsdrähte p p'. Sie sind in Glasröhren eingekittet, ihre horizontalen Arme bis vor an die beiden Platinschaufeln dick mit Firniss überzogen.

Die Entfernung der letzteren kann verändert werden, wurde aber für alle vergleichende Versuche gleich erhalten, nämlich 5 Millimeter gross. Ebenso wurde dafür gesorgt, dass der obere Rand der höheren Schaufel so zu stehen kam, dass stets der über die Schaufeln herabhängende Nerv diesen an der gleichen anatomischen Stelle, nämlich unmittelbar über seinem Eintritt in den Unterschenkel berührte.

Dieser ganze Apparat kann entweder behufs des Austrocknens der Nerven auf die beiden Klötze k k gestellt werden, oder auf eine mit Wasserdampf gefüllte Schüssel, wenn die Nerven vor dem Austrocknen geschützt werden sollen, oder auf das Gefäss Q, dessen Einrichtung erlaubt, den Nerv während seines Quellens in Wasser auf seine Reizbarkeit zu prüfen, wie später gezeigt werden soll.

Vor Beginn des Versuches werden die zur nachträglichen Bestimmung von elektromotorischer Kraft und wesentlichem Widerstand des Elementes nöthigen Beobachtungen an der Bussole gemacht. Der von k am Uhrwerk P herkommende Draht in die Klemme des Platin gebracht, die Kette k selbst aber dadurch geschlossen, dass man kurze Drähte, welche einerseits vom Platin, andererseits vom Zink ausgehen, in das Quecksilbernäpfchen Q versenkt. Dadurch sind die Ladungen an den Polen der Kette von vornherein beseitigt, und man hat bei Beginn des

Versuches nichts von unipolaren Zuckungen zu befürchten, zumal alle übrigen Theile des Apparates vollkommen isolirt sind.

Ein längerer Poldraht, vom Zink ausgehend, taucht in den Quecksilbernapp Q'. Das Uhrwerk wird so gestellt, dass die Anzahl der Unterbrechungen des Stroms in der Zeit-Einheit für alle vergleichenden Versuche constant bleibt. Ist das Präparat aufgestellt, so wird der von der unteren Platinschaufel ausgehende Draht in den Quecksilbernapp Q getaucht. Wird nun die bis jetzt geschlossen gehaltene Kette durch Ausheben der kurzen Drähte aus dem Quecksilber in Q geöffnet, so nimmt der Strom periodisch seinen Gang in der Richtung der Pfeile durch die ganze Leitung und in absteigender Richtung durch den Nerv. Auch das Letztere ist für alle vergleichenden Versuche constant erhalten worden.

Die Widerstände im Rheostaten werden vor jeder einzelnen Beobachtung so gross gemacht, dass nach Eintauchen des oberen Drahtes pl in den Quecksilbernapp Q'' keine Zuckungen im Präparat zu erwarten sind. Dann erst wird der Rheostatendraht (Rh. pp) langsam herabbewegt, so lange bis deutliche und genau mit dem Tempo des Uhrwerks zusammenfallende Zuckungen constant auftreten. Dieser Stand des Rheostaten wird notirt, der Draht hinaufgezogen, wieder herabbewegt und untersucht, ob man in mehreren solchen Versuchen immer wieder die gleiche Ablesung am Rheostaten gewinnt.

Die Vorsichtsmaassregel mit den grösseren Widerständen im Rheostaten zu beginnen und sie nach und nach zu verringern, bis der Strom Zuckung erregend wirkt, wurde durch häufige Erfahrungen geboten, welche uns ebenfalls einige Aussicht eröffnen, tiefer in die Geheimnisse der molekulären Vorgänge einzudringen. Es ist wohl im Grunde die alte Erfahrung, dass auf den jeweiligen Erregbarkeitsgrad der Nerven

die vorausgegangenen Eingriffe wesentlich influiren, allein wir gewinnen hiefür ein klareres Bild, wenn ich nur ein paar Beispiele anführe, welche sich unter meinen Aufzeichnungen vom 9. März 1857 finden.

I.

Nachdem in 25 Minuten die Reizbarkeit eines vor dem Austrocknen gänzlich geschützten Nerv so weit abgenommen hatte, dass in dem Präparat nur noch regelmässige Zuckungen auftraten, als die Rheostatenablesung 1 Centim. Höhe der Wassersäule betrug, konnte man bis zum 80 Centim. den Draht langsam aufziehen, ohne dass man dadurch die periodischen Zuckungen sistirte. Nun wurde der Rheostatendraht auf 100 Centim. eingestellt. Dabei zeigte sich keine Zuckung. Sie konnte auch nicht früher wieder hervorgerufen werden, als bis man langsam den Draht bis auf 1 Centimeter herabgeschoben hatte. Nach 5 Minuten war diess erst möglich am Nullpunkt des Rheostaten. Zog man von da an den Draht wieder hinauf, so blieben die Zuckungen constant periodisch mit dem Pendelschlag, bis der Draht auf 120 Centimeter stand.

Noch auffallender musste es erscheinen, dass die Intensität der Zuckung sich vollkommen gleich blieb, man mochte so die Widerstände bis zum 120fachen vergrössern oder verkleinern. Das findet nicht statt, wenn die Zuckung bei dem Herabschieben des Drahtes in höheren Breiten der Rheostatenablesung auftritt. Je kleiner man von da ab die Widerstände macht, desto heftiger werden die Zuckungen. Fünf Minuten später, welche Zeit ohne Reizung des Nerv verstrich, konnte man, von 100 Cent. Höhe angefangen, den Draht bis 0 herabbewegen, ohne Spur einer Zuckung.

II.

Dieser Fall gilt für ein Präparat, dessen Nerv nicht vollkommen vor Wasserverlust geschützt war. In der ersten Columnne findet sich

die Zeit der Reizung notirt, in der zweiten die Rheostatenablesung, in der dritten die Natur der Zuckung.

Zeit	Rheostatenablesung in Cent. Wassersäule	Natur der Zuckung.
8 Uhr 59 Minuten (früh)	140	Schliessungszuckung.
9 Uhr 15 Minuten	136	Schliessungszuckung.
9 Uhr 34 Minuten	125	Schliessungszuckung.
10 Uhr 5 Minuten	120	Schliessungszuckung.
10 Uhr 17 Minuten	Keine Zuckung.	
10 Uhr 18 Minuten:	Der Nerv wird <i>einmal</i> in direkte metallische Berührung mit der Kette gebracht, wobei der Präparat heftig zuckt. Unmittelbar darauf zuckt es auch periodisch mit dem Uhrwerk bei	
	119	und zwar mit Oeffnung und Schliessung der Kette.
10 Uhr 20 Minuten	120	Schliessungszuckung.
11 Uhr	120	Schliessungszuckung.
1 Uhr	35	Oeffnungszuckung.
1 Uhr 58 Minuten	2	Oeffnungszuckung.

Zieht man von da den Rheostatendraht wieder hinauf, so kann man bis in eine Höhe von 30 Cent. kommen, ohne die Zuckung verschwinden zu sehen.

2 Uhr 20 Minuten	2 (bei Herabschieben des Drahtes)	
2 Uhr 33 Minuten	0	ganz schwache Oeffnungs-Zuckungen.

Abermals wird der Nerv in unmittelbare metallische Berührung mit der Kette gebracht, und zuckt dabei *einmal* heftig.

Zeit	Rheostatenablesung in Cent. Wassersäule	Natur der Zuckung.
2 Uhr 33,5 Minuten	120	
2 Uhr 46 Minuten	0	(keine Zuckung.)
2 Uhr 51 Minuten:	Wiederum wird der Nerv in unmittelbare metallische Berührung mit der Kette gebracht. Man lässt hier fünf Zuckungen erfolgen, und sofort kann man unter fortwährenden periodischen Oeffnungs-Zuckungen des Präparates den Rheostatendraht bis 120 hinaufziehen.	
2 Uhr 57 Minuten	120	(wobei der Draht von oben nach abwärts bewegt wurde.)
3 Uhr 6 Minuten	0	(wenn der Draht abwärts bewegt wurde.)

Nach 5 Oeffnungszuckungen, welche man durch die unmittelbare metallische Berührung des Nerv mit der Kette entstehen lässt, kann man den Rheostatendraht wieder bis 120 Centim. emporziehen, bis die Zuckungen, welche das Unterbrechen des Stromes erzeugt, verschwinden, ja man sieht dabei mitunter selbst einzelne verstärkte Oeffnungszuckungen.

3 Uhr 16 Minuten	0	(wenn der Draht abwärts bewegt wurde.)
------------------	---	--

Nach 10 Oeffnungszuckungen, wie vorhin erzeugt, kann man wieder den Draht bis 120 Centim. hinaufziehen, ohne die Zuckungen zu sistiren.

3 Uhr 25 Minuten	0	(wenn der Draht abwärts bewegt wurde.)
------------------	---	--

Weit entfernt aus diesen nur beispielweise angeführten Beobachtungsreihen ein bestimmtes Gesetz abstrahiren zu wollen, kann man doch

jetzt schon sagen, dass die Erregung der Nerven, allgemein ausgedrückt, ihre Thätigkeit auf Vorgängen in Molekülen beruhen müsse, welche dem Trägheitsgesetz der wägbaren Materie unterworfen sind, oder noch vorsichtiger ausgedrückt, dass die Thätigkeits-Aeusserungen der Nerven von Vorgängen in solchen Molekülen begleitet seyn müssen. Eine Schlussfolgerung, welche schon von anderer Seite her, nämlich durch Helmholtz's werthvolle Untersuchungen über die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Nervenwirkung, eine Gewähr gefunden hat.

Nun sieht man aber weiter, dass diese Eigenschaft der Nerven gewissen Nachwirkungen vorausgegangener Reize unterworfen zu seyn, der Geltung aller Resultate unserer vergleichenden Reizversuche sehr gefährlich werden kann, wenn die Dauer jener Nachwirkungen ungleich gross und die Summirung von Nachwirkung und neuem Reiz unberechenbar bleibt.

Dass das Letztere unter gewissen Umständen vorkommen kann, lehren die voranstehenden Versuchsreihen, in welchen die Heftigkeit der Zuckungen unverändert blieb, wie immer die Intensität der Reize wechseln mochte, welche auf einen intensiveren folgten. Durch den letzteren war der Nerv auf einige Zeit in einen Zustand versetzt, in welchem jeder schwächere, auch der leiseste Impuls die volle Wirkung des ungleich stärkeren hervorzurufen vermochte, wobei jener vergleichbar dem Druck an der feinen Auslösung eines aufgezogenen Uhrwerkes wirkte, und wobei es ebenfalls gleichgültig ist, ob der Druck stark oder schwach ist.

Aus den Zeitangaben in den beiden Versuchsreihen ist freilich nicht zu ersehen, wie lange nach einem Reiz von bekannter Grösse die Nachwirkung dauert, sondern nur wann sie bestimmt vorübergegangen war. Diess war der Fall . . .

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| 1) nach 22 Minuten | 1) nach 5 Minuten |
| 2) nach 13 „ | 2) nach $\frac{1}{2}$ „ |
| 3) nach 9 „ | |
| 4) nach 9 „ | |

Bedenkt man, dass die Impulse, deren Nachwirkungen hiebei beobachtet worden sind, sehr heftige waren, dass sich im Mittel schon nach 11 Minuten keine Nachwirkungen mehr zeigten, so darf angenommen werden, dass da, wo von 5 zu 5 Minuten mit dem möglichst kleinen Reiz der Nerv erregt wird, wie diess in der Mehrzahl der Versuche geschah, in den zweiten Versuch keine Nachwirkung des vorausgegangenen Reizes hinüberspielt.

Wie die Macht der Impulse, welche man auf den Nerv wirken lässt, wenigstens eine kleine Zeit nachklingt, und von Einfluss auf einen unmittelbar darauf angestellten neuen Versuch seyn kann, ebenso muss auch die Grösse der Pausen in den Reizversuchen berücksichtigt werden. Es ist eine im Allgemeinen schon bekannte Thatsache, dass sich Nerv und Muskel nach vorausgegangenen Anstrengungen mehrere Male in der Ruhe wieder erholen kann. Auch für dieses Factum will ich hier nur ein Beispiel anführen, welches hievon ein etwas klareres Bild giebt.

Der Nerv wurde durch einen 58 mal in je einer Minute unterbrochenen Strom gereizt, der Widerstand im Rheostaten so regulirt, dass der Reiz nur den eben ausreichenden Grad der Stärke hatte, welcher zur Erzeugung von regelmässig isochronen Zuckungen nothwendig war.

Zeitangabe	Rheostatenablesung in Cent. Wassersäule
Bei Beginn des Versuches	54
nach der 1. Minute	49

Zeitangabe	Rheostatenablesung in Cent. Wassersäule
nach der 2. Minute	48
nach 1 Minute Ruhe	54
nach der 5. Minute	44,5
nach der 7. Minute	38,5
nach 1½ Minuten Ruhe	40
nach der 12. Minute	18
nach der 13. Minute	14
nach 3 Minuten Ruhe	17
nach der 18. Minute	12,5
nach der 20. Minute	9
nach 2 Minuten Ruhe	15,5
nach der 23. Minute	11
nach der 24. Minute	8
nach der 25. Minute	4,2
nach der 26. Minute	0
nach 4 Minuten Ruhe	13,5
nach der 31. Minute	7
nach der 31,5. Minute	0
nach 2½ Minuten Ruhe	13
nach der 36. Minute	7,5
nach der 36,5. Minute	3,5
nach der 37,5. Minute	0
nach 9 Minuten Ruhe	9,5
nach der 47. Minute	4,9
nach der 48. Minute	0
nach 3 Minuten Ruhe	9
nach der 53. Minute	0
nach 5 Minuten Ruhe	10
nach der 59. Minute	3,5

Zeitangabe	Rheostatenablesung in Cent. Wassersäule
------------	--

nach der 60. Minute	0
(keine periodischen Zuckungen mehr.)	
nach 10 Minuten Ruhe	4,5
nach der 71. Minute	0
nach der 72. Minute	keine Zuckungen mehr bei 0.

Die Curve I. Taf. II. versinnlicht die Erfolge dieses Versuches. Die steil abfallenden und unterbrochenen Curvenstücke geben Bilder der durch fortwährende Reizung schnell herbeigeführten Verminderung der Reizbarkeit, die Lücken zwischen je zwei Curven zeigen die Grösse der Pausen, die oberen Punkte der kleinen Curven die jeweilige Restauration, welche die Nerven durch die ihnen gegönnte Ruhe gewonnen haben. Verbindet man die Höhenpunkte aller dieser einzelnen Curven unter einander, so erhält man eine neue zusammenhängende Curve (punktirt auf der Tafel), um derentwillen hauptsächlich dieser Versuch mitgetheilt wurde.

Vergleicht man nämlich diese mit der Curve III, so ist in Beziehung auf ihre Form eine grosse Aehnlichkeit zwischen beiden wahrzunehmen. Die letztere stellt uns aber, wie sogleich gezeigt werden soll, das Gesetz dar, nach welchem der Nerv abstirbt, wenn alle äusseren Einflüsse möglichst von ihm abgehalten sind, welche den Vergleich seines natürlichen Absterbens nach seiner Trennung von dem Gesamtorganismus stören könnten.

Das heisst also: man kann durch geeignete Pausen zwischen selbst längeren Perioden fortdauernder Reizung die Erfolge der letzteren so weit eliminiren, dass die Erregbarkeit der Nerven in ähnlicher Weise erlischt, wie wenn viel seltner der Nerv mit den schwächsten Mitteln erregt worden wäre.

Das Letztere geschah bei einer grösseren Reihe von Versuchen, deren Resultate zu Mittelwerthen vereinigt, und in der Curve III aufgetragen wurden, von 10 zu 10 Minuten.

Ich habe nämlich von einem meiner Praktikanten, Herrn Birkner, im Winter 1856/57 eine grosse Reihe von Versuchen anstellen lassen, und dieselben zum grössten Theil selbst mitgemacht, um eine weitere für unsere Reizversuche höchst wichtige Frage zu erledigen, nämlich wie sich die Reizbarkeit der Nerven bei verschiedenem Wassergehalt verhält. Birkner hat die beobachteten Zahlenresultate in seiner Schrift „über den Werth des Wassers in der Nervensubstanz (Himmersche Druckerei in Augsburg)“ zusammengestellt und die allgemeinen Schlussfolgerungen, welche sich daran anknüpfen lassen, daraus gezogen.

Hier kommt es darauf an, für unsere speziellen Bedürfnisse die Beobachtungen zusammenzustellen, was vor Allem gewisse Reductionen der Zahlen verlangt, von welchen sogleich die Rede sein soll.

Vorauszuschicken ist, dass der Teller t (in A auf Taf. I) mit dem vor jeder Verdunstung geschützten Präparat auf einem mit Wasser theilweise gefüllten Gefäss aufgestellt wurde. Es darf als vollkommen sicher angenommen werden, hat sich übrigens auch durch controlirende Gewichtsbestimmungen bestätigt, dass hiebei keinerlei Wasserverlust den Nerv während der ganzen Versuchsdauer betroffen hat. Die Drähte p p' wurden in die entsprechenden Quecksilbernäpfe Q' und Q'' eingetaucht, und die Reizung nach dem oben beschriebenen Schema vorgenommen.

Die Rheostatenstände, welche in allen einzelnen Fällen beobachtet wurden, und in der oben citirten Schrift mitgetheilt sind, geben die Maximalwerthe der Widerstände in Centimetern einer Wassersäule von dem Querschnitt $9,07 \square$ Millim. an, welche eingeschaltet werden durften,

wollte man eben noch mit dem Pendelschlag isochrone Zuckungen beobachten. Sie drücken also die Stromstärke bis zu dem Minimalwerthe herab, bei welchem sie den Nerv zu erregen im Stande ist.

Um aus den verschiedenen einzelnen Fällen den Einfluss der Individualität zu eliminiren, was nothwendig ist, wenn man daraus ein Gesetz von mehr allgemeiner Gültigkeit ziehen will, muss man sämtliche Veränderungen der Reizbarkeit, welche während des Absterbens der Nerven unter diesen Umständen eintreten, auf eine Einheit der anfänglichen Reizbarkeit beziehen.

Setzt man alle Rheostatenablesungen in Relation zu dieser für jede Versuchsreihe willkürlich hergestellten Einheit der Rheostatenablesung, so erhält man die nach und nach zum Vorschein kommenden Bruchtheile dieser Einheit und kann für die gleichen Zeiten deren Mittel ziehen und aus diesen das Gesetz finden, nach welchem sich die Reizbarkeit im Verlauf der Zeit ändert. Dies ist in der nächsten Tabelle geschehen, in welcher unter den römischen Zahlen der Versuchsnummern die wirklichen ersten Rheostatenablesungen stehen. Diese sind in der Tabelle immer zu 1000 angenommen.

Ablesungen am Rheostaten

1te Ablesung = 1000.

Zeit	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	Mittel
	135,5	150	133,5	97	57	154	145	142	133	30	60	88	120	135	113 Cent.
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
10	885	947	885	929	772	454	69	958	887	833	900	909	992	955	819,8
20	546	900	516	588	594	389	62	929	601	667	767	795	975	518	531,9
30	479	867	206	324	351	259	34	739	413	500	650	738	724	374	475,6
40	309	853	140	216	263	226	0	669	301	333	333	671	250	267	345,1
50	251	700	114	103	210	182	—	514	180	200	333	567	—	267	304,0

Zeit	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	Mittel
	135,5	150	135,5	97	57	154	145	142	133	30	60	88	120	135	113 Cent.
60	177	567	59	51	105	143	—	451	15	133	300	500	280	267	232,1
70	140	432	51	41	53	129	—	408	8	100	250	341	154	89	168,9
80	99	333	14	41	0	129	—	380	0	67	150	250	100	78	128,5
90	74	200	7	31	—	110	—	380	—	0	0	158	78	78	101,4
100	74	133	0	21	—	64	—	380	—	—	—	91	58	78	99,9
110	74	107	—	0	—	64	—	282	—	—	—	0	42	78	80,8*
120	74	107	—	—	—	52	—	253	—	—	—	—	15	78	96,5
130	59	67	—	—	—	26	—	207	—	—	—	—	0	73	72,0*
140	51	67	—	—	—	26	—	173	—	—	—	—	—	52	73,8
150	48	47	—	—	—	13	—	173	—	—	—	—	—	44	65,0
160	37	33	—	—	—	0	—	103	—	—	—	—	—	44	43,4
170	29	33	—	—	—	—	—	63	—	—	—	—	—	—	42,6
180	14	27	—	—	—	—	—	41	—	—	—	—	—	—	27,3
190	0	13	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	0	3,2
200	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,0

Die in der Rubrik „Mittel“ verzeichneten Zahlen sind als Ordinaten auf die Abscisse der Zeit auf Tafel II übergetragen und untereinander zur Curve III verbunden.

Mit Verkleinerung der Rheostaten-Widerstände, welche zur Erzielung einer Erregung nothwendig werden, sinkt die Reizbarkeit. Man kann also Eines für das Andere setzen und entsprechend dem Bild der Curve sagen:

„Bei gleichbleibendem Wassergehalt der Nerven sinkt deren Reizbarkeit im Verlauf der Zeit anfänglich sehr rasch, um sich von da ab mehr und mehr asymptotisch der Abscissenaxe zu nähern.“ Die kleinen Ausbiegungen der Curve an den mit * bezeichneten Stellen habe ich aus leicht zu übersehenden Gründen unberücksichtigt gelassen.

Nun kam es darauf an zu untersuchen, wie sich diese Curve verändere, wenn der Wassergehalt der Nerven verändert wird, und zwar wenn er sich erstens vergrössert und zweitens verkleinert. In Beziehung auf die Vergrösserung habe ich gleichzeitig auch den Quellungs- gang ermitteln lassen, wenn die Nerven in stets erneutem destillirten Wasser liegen. In der citirten Schrift von Birkner sind die aus den Beobachtungen sich ergebenden Zahlen notirt.

Die Curve V unserer II. Tafel zeigt das Gesetz, nach welchem die Nerven im Verlauf der Zeit Wasser imbibiren.

Als Abscisse ist hier wieder die Zeit gewählt, während die Ordinate den dabei aufgenommenen Procenten von Wasser entsprechen. Sie sind in Relation zu dem Gewicht des frischen Nerven gesetzt. Um diese Curve mit den anderen Curven vergleichen zu können, sind die Wasserwerthe entgegengesetzt den Rheostatenablesungen in absteigender Reihe aufgetragen. Die Darstellung dieser Curve basirt aus den mittleren Gewichtsbestimmungen an 70 Nerven. Das daraus abstrahirte Gesetz lautet:

„Die Nervensubstanz nimmt bis zur 20ten Minute hin Wasser von $+15^{\circ}$ Temperatur äusserst begierig auf, von da ab aber immer weniger begierig, so dass der Culminationspunkt der Lebhaftigkeit dieses Vorgangs zwischen die 20te und 30te Minute fällt; über die erste Stunde hinaus schleppt sich der ganze Process nur äusserst langsam fort.“

Um das Gesetz zu finden, nach welchem sich während der Quellung die Reizbarkeit ändert, habe ich folgendes Verfahren einschlagen lassen.

Der Apparat, in welchem der wie gewöhnlich auf den Platinschaufeln aufgelagerte Nerv der Quellung ausgesetzt wurde, ist in Q Taf. I abgebildet.

Es ist ein cylindrisches Glasgefäss, welches c. 2 Liter fasst. In seinem Innenraum ist ein Thermometer aufgehängt, seitlich ist über dem Boden eine Steigröhre z mit einem grossen Hahn h und einem Trichter angebracht.

Anfänglich füllt das Wasser dieses Gefäss nur bis zu einer solchen Höhe, dass das herabhängende Nerven-Ende noch über seinem Spiegel steht. Sowie der Nerv auf die gewöhnliche Weise auf seine Reizbarkeit geprüft ist, wird die Zeit notirt und durch den Trichter Wasser nachgegossen, bis der Nerv vollkommen eintaucht; sowie fünf Minuten verstrichen sind, öffnet man den Hahn h, aus welchem momentan so viel Wasser ausströmt, um das Niveau unter das Nervenende herabsinken zu lassen. Jetzt wird die Reizbarkeit des Nerven aufs Neue geprüft, darauf die Zeit notirt, in welcher durch den Trichter frisches destillirtes Wasser in gehöriger Menge zugegossen ist, um den Nerv weitere 5 Minuten quellen zu lassen u. s. w.

Die grosse Wassermenge in Gefäss Q sichert einerseits die Gleichheit der Temperatur während des ganzen Versuches und entspricht andererseits der steten Erneuerung des Wassers, welche bei den Quellungsversuchen eingehalten wurde. Jenes ist besonders deswegen nöthig, weil nach Eckhards Versuchen die Nerven in verschieden temperirtem Wasser ungleich lange lebensfähig bleiben. Die Temperatur, bei welcher die jetzt zu erwähnenden Versuche angestellt wurden, schwankte zwischen 16 und 17° Cels. Die bei Birkner nachzusehenden Resultate habe ich auch hier wieder auf die individuelle Reizbarkeit in jedem einzelnen Falle dadurch reducirt, dass der jeweilige Rheostatenstand vor Beginn der Quellung = 1000 gesetzt ist. In der Tabelle II sind diese Reductionen zusammengestellt und wieder unter den mit römischen Ziffern markirten Versuchsnummern die anfänglichen Rheostatenablesungen eingetragen.

Rheostaten- 1te Ablesung												
Zeit	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
,	118	120	120	120	21	68,2	115	141,5	67,6	130	157	130
nach 0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	—	629	896	1000	714	528	—	572	609	504	382	323
10	610	—	583	—	671	344	161	400	578	366	361	323
15	—	—	—	1000	671	279	144	124	561	362	239	185
20	445	617	—	1000	—	279	126	81	561	207	201	185
25	275	600	250	1000	671	205	70	81	561	207	141	138
30	145	550	238	1000	652	0	31	42	541	38	0	108
35	102	425	208	1000	652	—	17	25	245	0	—	92
40	0	158	50	708	500	—	0	0	242	—	—	0
45	—	0	0	466	352	—	—	—	162	—	—	—
50	—	—	—	0	0	—	—	—	0	—	—	—
Nach Minuten:	0'	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
XXV 145	1000	483	345	345	145	35	0	—	—	—	—	
XXVI 94	1000	702	702	542	288	106	0	—	—	—	—	

Ableesungen.

= 1000.

XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV	Mittel
106,5	89	134,5	131	85	152	160	78	87,5	111	55,5	70	
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
629	562	639	298	517	907	428	564	583	891	787	743	626,8
629	404	579	298	259	706	428	352	468	775	559	743	500,5
619	404	273	233	259	704	266	362	468	612	559	743	439,2
507	331	223	107	259	704	266	297	349	612	529	666	382,8
291	269	0	107	259	293	191	173	299	612	529	666	318,0
239	269	—	0	112	0	162	173	114	486	522	536	274,8
197	269	—	—	111	—	56	102	0	446	360	286	246,4
94	269	—	—	76	—	50	0	—	126	360	286	170,7
0	39	—	—	35	—	0	—	—	41	252	143	106,4
—	0	—	—	0	—	—	—	—	0	0	0	0,0
Nach Minut.:	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
XXVII 137	1000	503	489	416	361	361	252	197	117	0	—	
XXVIII 67	1000	895	821	610	610	522	522	395	209	0	—	

Die aus den Mitteln gewonnenen Werthe sind wie bei Curve III eingetragen und unter einander zur Curve II Tab. II verbunden. Diese stellt das Gesetz dar, nach welcher die Reizbarkeit der Nerven im Verlauf der Zeit sinkt, wenn sie im Wasser von $16,5^{\circ}$ Cels. quellen.

Man sieht hieraus, dass die Reizbarkeit in den ersten Stadien der Quellung ungemein sinkt, dass von da an ihre Abnahme mehr in ähnlicher Weise fortschreitet, wie bei ihrem Absterben mit gleichbleibendem Wassergehalt, dass endlich ziemlich genau der Zeit entsprechend, wo die Rapidität der Wasseraufnahme ihren Culminationspunkt erreicht hat (Wendepunkt der Curve V), ein zweites plötzliches Sinken der Reizbarkeit eintritt, in Folge dessen in einer 40mal kürzeren Zeit das gleiche Stadium derselben, welches der Nullpunkt der Rheostatenablesung markirt, erreicht wird.

Das Absterben der Nerven im Wasser folgt also einem anderen Gesetz als das ihres Absterbens in der Luft, wenn ihr ursprünglicher Wassergehalt gewahrt bleibt. Der Einfluss verschiedener Temperaturgrade auf die Reizbarkeit verlangt entweder eine andere Methode als ihr Eintauchen in Wasser von verschiedener Wärme, oder wenn jene beibehalten werden soll, eine Voruntersuchung der Imbibitionsgeschwindigkeit verschieden temperirten Wassers; denn neben dem Einfluss der Wärme wird diese einen wesentlichen Ausschlag geben.

Eine vergleichende Uebersicht der Unterschiede zwischen den beiden Curven (II und III) bietet die folgende Zusammenstellung, in welcher für gleichweit auseinander liegende Zeiten die Differenzen der zugehörigen Rheostatenwerthe oder ihrer dadurch ausgedrückten Erregbarkeits-Grade aufgezeichnet sind.

Nach 10 Minuten ist die Differenz der Rheostatenwerthe	319,8
nach 20'	249,1
nach 30'	200,8
nach 40'	174,4
nach 50'	304,0

Die überraschendsten Resultate lieferte aber die Untersuchung des Verhaltens von Nerven, welche dem Austrocknen in freier Luft ausgesetzt wurden. Ich liess genau wie in den früheren Versuchen verfahren, nur wurde der Glasteller mit dem Präparat, wie in Fig. 1 A Tab. I. abgebildet ist, auf die Klötze k k gestellt. Die Temperatur der Zimmerluft schwankte in allen Versuchen zwischen 15 und 16° Cels., und jeder Zugwind wurde vermieden; trotzdem kommen hier zu grosse Unterschiede in den Zeiten vor, in welchen die gleichwerthigen Erregbarkeitsgrade gefunden wurden, als dass man aus den Mitteln aller Versuche, deren Zahlenresultate in der citirten Schrift von Birkner zu finden sind, eine Curve hätte entwerfen dürfen.

Die übersichtlich zusammengestellten auf 100 reducirten Zahlen der nächsten Tabelle lassen schon dem flüchtigsten Blick das Gesetz erkennen, nach welchem sich constant die Reizbarkeit unter diesen Umständen ändert.

Auch hier stehen wieder unter den römischen Ziffern der Versuchsnummern die wirklichen Rheostatenablesungen in Centimetern, welche der Reizbarkeit der frischen Nerven entsprochen haben.

Der Fall X bezieht sich auf einen Nerv, welcher vorher längere Zeit in Wasser gelegen hatte.

Rheostaten-Ablesungen.

1te Ablesung = 100.

Zeit	I 32,5	II 51	III 41	IV 120	V 53	VI 88	VII 88	VIII 30	IX 30	X 0
0'	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
5	367	208	93	100	73	—	204	533	152	100
6	861	229	683	400	—	—	—	—	—	114
7	861	549	683	400	—	204	—	—	—	138

[illegible]

Es fällt sogleich in die Augen, dass bei dem Vertrocknen der Nerven ihre Reizbarkeit in der kürzesten Zeit eine enorme Höhe erreicht; das längere Verweilen auf derselben entspricht nicht ganz der Wahrheit, indem nämlich der dazu gebrauchte Rheostat den Widerstand nur bis auf 280 Centim. Wasserhöhe anwachsen zu lassen erlaubte. Es gelang mir bis jetzt noch nicht, das äusserste Maass des dabei erforderlichen Widerstandes zu ermitteln. Die Curven, von welchen nur eine beispielsweise unter IV auf Tab. II. dargestellt ist, steigt gewiss sehr viel höher an, um in einem scharfen Winkel umzubiegen.

Aus dem oben berechneten Werth des Widerstandes, welchen 1 Centimeter Wassersäule unseres Rheostaten leistet, lässt sich jetzt abnehmen, welche eminente Reizbarkeit der Nerv während des Austrocknens erfährt. Sie bleibt auf jener Höhe bald kürzer bald länger, sinkt aber immer von ihr zuletzt mit ausserordentlicher Schnelligkeit herab.

Man weiss schon längst, dass wenn ein Nerv austrocknet, so zucken in der Regel die dazu gehörigen Muskeln längere Zeit convulsivisch. Ich habe auf's Strengste jede Verwechslung dieser Zuckungen mit denen, welche durch den Strom erzeugt wurden, vermeiden lassen, worüber das Nähere bei Birkner nachzusehen ist.

Treten diese Zuckungen, welche wir die *spontanen* nennen wollen, auch sehr häufig auf, so sind sie doch nicht die jedesmaligen Begleiter des Todes der Nerven während des Austrocknens. Auch beschliessen sie nicht immer die Scene. Sehr häufig findet man auch nach ihrem Aufhören noch jene enorme Höhe der Reizbarkeit. Ueber den Grund ihres Entstehens und ihres Ausbleibens kann ich trotz vielfach darauf gerichteter Untersuchungen bis jetzt keine genügende Auskunft geben; nur so viel ist gewiss: ihre Quelle liegt in dem der Vertrocknung ausgesetzten Nervenstamm und nicht in den feinen Muskelästen.

Die Versuchsreihe X bietet aber noch ein weiteres Interesse. Sie betrifft einen Nerven, welcher schon 25 Minuten in Wasser gelegen hatte. Bei der grossen Begierde, mit welcher die Nerven in diesem Zeitraum Wasser aufnehmen, kann es den allgemeinen Gesetzen der Diffusion nach nicht anders seyn, als dass nicht unbeträchtliche Mengen in Wasser löslicher Bestandtheile aus der Nervensubstanz austreten. Trotzdem sehen wir aber thatsächlich die Möglichkeit, dass der Nerv während seines Austrocknens nicht blos den ursprünglichen Grad der Reizbarkeit, sondern alle Zwischenstufen bis hinauf zu dem Culminationspunkt erreichen kann, welchen frische Nerven unter den gleichen Umständen gewinnen. Daraus folgt, dass ein gewiss nicht unbeträchtlicher Theil der in den Nerven enthaltenen, in Wasser löslichen Stoffe verloren gehen kann, ohne dadurch die Reizbarkeit zu beeinträchtigen; und dass, so viel lässt sich jetzt wenigstens schon sagen, ihre Höhe mit einem gewissen Concentrationsgrad dieser Lösungen in unmittelbarem Zusammenhang steht. Quantitative Untersuchungen hierüber habe ich noch nicht angestellt, da es mir bis jetzt nur um die Bedeutung des Wassergehaltes im Allgemeinen zu thun war.

Ich kann an diesem Ort eine Thatsache nicht verschweigen, welche uns vielleicht noch weitere Anhaltspunkte für die proteusartige Erscheinung der sogenannten „Stufen der Erregbarkeit, der Ritter'schen Anomalie“ und der damit zusammenhängenden Fragen bietet.

Der Strom, dessen wir uns zur Reizung bedienten, war immer ein absteigender, d. h. der positive Poldraht stand mit dem oberen, der negative mit dem unteren Stück des Nerven in Berührung. Bei den Minimalwerthen der Stromstärken, welche wir anwandten, fanden sich bei den quellenden Nerven nie Oeffnungszuckungen, dagegen waren sie bei den austrocknenden Nerven in den Stadien der höchsten Reizbarkeit und darüber hinaus, bis der Rheostatendraht wieder auf Null herab-

geschoben werden musste, man darf geradezu sagen Regel. Sollte es gelingen, die vielfach hierauf bezüglichen Thatsachen, welche ich bis jetzt gesammelt habe, in ein zusammenhängendes Bild zu bringen, so werde ich darauf in einer besonderen Abhandlung zurückkommen.

Inzwischen versäumte ich auch nicht, das Verhalten der elektromotorischen Kräfte in quellenden und austrocknenden Nerven zu studiren, wobei sich ebenfalls eine höchst überraschende Thatsache aufdrängte, um später ihre Verwerthung zu finden.

Das Instrument, dessen ich mich bediente, war ein grosser Pariser Multiplicator, wie er von Du Bois für die Nervenuntersuchungen verlangt wird. Der Nerv wurde einmal wie's anderemal in gleicher Weise auf die Zuleitungsbäusche gelegt, nämlich U-förmig mit zwei Querschnitten an den einen Bausch gestossen, mit dem Gipfel der Schlinge auf den anderen gelegt; und zwar war in allen Versuchen der letztere auf den Bausch derselben Seite also etwa den rechten gelagert.

In solcher Weise wurden nun quellende und austrocknende Nerven geprüft und zwar so, dass jedesmal vor dem Auflegen mit einem möglichst raschen und scharfen Schnitt ein neuer Querschnitt hergestellt wurde.

Ich werde nun die Resultate folgen lassen, so wie sie an elf Nerven im verwichenen Hochsommer gewonnen wurden.

I. Nerv.

Der frischpräparirte Ischiadicus gab 4,5° östliche Ablenkung.

Nach Quellung in Wasser (5 Minuten)	11°	„	„
„ 10 Minuten Quellung	7°	„	„
„ 15 „ „	8°	„	„
„ 20 „ „	8°	„	„

Nach 25 Minuten Quellung	8,8° östliche Ablenkung.
„ 30 „ „	7,5° „ „
„ 35 „ „	5° „ „
„ 40 „ „	3° „ „

II. Nerv.

Das galvanische Präparat wurde so aufgestellt, dass der Nerv frei in der Luft hieng und austrocknete; so wie deutliche spontane Zuckungen auftraten, wurde er abgeschnitten, am oberen Ende ebenfalls ein frischer Querschnitt hergestellt, und genau wie der Nerv I. aufgelegt. Die Ablenkung der Nadel betrug jetzt

3° westlich.

Sofort wurde er in destillirtes Wasser gelegt.

Nach Quellung von	5 Minuten war die Ablenkung	15° östlich
„ „ „ weiteren 5	„ „ „ „	17° „
„ „ „ „ 5	„ „ „ „	17,5° „
„ „ „ „ 6	„ „ „ „	14° „
„ „ „ „ 6	„ „ „ „	13° „
„ „ „ „ 11	„ „ „ „	15° „
„ „ „ „ 10,5	„ „ „ „	10° „
„ „ „ „ 10	„ „ „ „	8° „
„ „ „ „ 30	„ „ „ „	4° „

III. Nerv.

Nach Austrocknen des Nerv bis zum Auftreten deutlicher spontaner Zuckungen in den Muskeln betrug die Ablenkung

2° westlich.

Nach Quellung des Nerv, 5 Minuten lang, war die Ablenkung

3,5° östlich.

IV. Nerv.

Nach Austrocknen des Nerv bis zu dem Auftreten spontaner Zuckungen war die Ablenkung

2,5° westlich.

Nach Quellung von 5 Minuten 7° östliche Ablenkung

„	„	„	weiteren 10	„	13°	„	„
„	„	„	15	„	6,7°	„	„
„	„	„	11	„	4,5°	„	„

V. Nerv.

Nach dem Austrocknen des Nerv bis zum Auftreten von kaum bemerkbaren spontanen Zuckungen betrug die Ablenkung

10° östlich.

VI. Nerv.

Nach dem Austrocknen bis zu ganz deutlichen, spontanen Zuckungen war die Ablenkung

2° westlich.

VII. Nerv.

Wie im vorigen Fall: 1,5° westlich.

VIII. Nerv.

Wie im vorigen Fall: 5° westlich.

Nachdem derselbe Nerv 5 Minuten in Wasser gelegen hatte, betrug die Ablenkung

3,5° östlich.

IX. Nerv.

Nach dem Austrocknen wie früher: 3° westlich.

X. Nerv.

Wie im vorigen Fall: 3° westlich.

IX. Nerv.

Frisch aufgelegt bewirkte er eine Ablenkung von 7,5° östlich.

Nach 5 Minuten Quellung in Wasser 13,5° "

" 10 " " " 7° "

" 16 " " " 5° "

" 20 " " " 7° "

" 26 " " " 4° "

" 31 " " " 4° "

" 39 " " " 0° "

Es muss vorausgeschickt werden, dass die *östliche* Ablenkung dem „ruhenden Nervenstrom“ entspricht, welchen der lebenskräftige Nerv zeigt. *Westliche* Ablenkung bei gleicher Auflagerungsweise der Nervenschlinge bedeutet also eine Umkehr des Stromes, welche freiwillig erfolgend „eine Bewegungserscheinung der Nervenmoleküle dokumentirt“, die das Absterben der Nerven begleitet. Du Bois-Reymond's Befunde stimmen auch hier wieder mit den unsrigen vollkommen überein, insofern jedenfalls der Nerv, welcher so weit ausgetrocknet ist, dass spontane Zuckungen in den zugehörigen Muskeln eintreten, schon nahe an die Grenze seiner Leistungsfähigkeit gekommen ist. Das Auffallende liegt aber darin, dass in dieselbe Epoche das Maximum der Reizbarkeit fällt, welches ein Nerv überhaupt gewinnen kann.

Darin scheint ein Widerspruch zu liegen — gleichwohl aber stimmen die Reizversuche mit denen am Multiplicator zusammen. Es ist fast ohne alle Ausnahme zu beobachten, dass gleich mit Beginn der spontanen Zuckungen oder nur wenige Minuten später die zur Erregung überhaupt verwendbaren schwächsten Ströme bei absteigender Richtung

Oeffnungszuckungen veranlassen, wenn vorher Schliessungszuckungen vorhanden waren. Ob diese oder jene auftreten, musste ceteris paribus von der jeweiligen Prädisposition der Nerven abhängig gedacht werden. Wir erfahren aber jetzt schon genauer, dass es auf eine bestimmte Gruppierung der Moleküle ankommt, wenn man an der Anschauungsweise Du Bois-Reymond's festhalten will.

Ist in Folge der vorschreitenden Austrocknung eine derartige Umlagerung der Moleküle erfolgt, welche aus der Stromumkehr vermuthet werden darf, so steht sicher, dass in diesem neuen Zustand, trotzdem dass er ein Vorbote des Todes ist, die Reizbarkeit oder Beweglichkeit der Moleküle enorm erhöht wird.

Die Stromumkehr ist aber *nur in diesem* Fall ein Vorläufer des Todes; denn bei den quellenden Nerven verschwindet, wie aus dem Versuch mit dem Nerven XI zu ersehen ist, der Strom ganz ohne vorausgehende Umkehr.

Dem vollkommen entsprechend sahen wir niemals bei den Reizversuchen an quellenden Nerven die Schliessungszuckungen in Oeffnungszuckungen umschlagen, wenn mit den jeweilig schwächsten absteigenden Strömen gereizt wurde.

Keineswegs aber soll jetzt schon behauptet werden, dass in allen Fällen, in welchen die Ritter'sche Anomalie beobachtet wird, in dem Nerv eine Umkehr seines Stromes vorhanden und die Ursachen der verschiedenen „Stufen der Erregbarkeit“ damit erkannt wären. Dazu berechtigen diese Versuche noch nicht. Ich erwähne der beiden hier nur als coincidirende Erscheinungen bei diesen ganz bestimmten Veränderungen der äusseren Zustände, in welche wir die Nerven versetzt haben.

Vergleicht man die Ergebnisse am Multiplicator mit den Reizver-

suchen an quellenden Nerven, so stösst man dabei auf Unterschiede, von welchen es sich fragt, ob sie Widersprüchen gleich zu setzen sind oder nicht.

Bei den Reizversuchen an quellenden Nerven zeigt sich vom Beginn der Quellung an ein Sinken der Erregbarkeit, am Multiplicator mit einer einzigen Ausnahme (Nerv I.) nach den ersten 5 Minuten eine Vergrösserung des Nadelausschlages im Sinne des „ruhenden Nervenstromes“. Entsprechend den anderweitigen Erfahrungen, welche Du Bois zu dem Ausspruch veranlassten: „die Stärke des Stromes steigt und fällt mit der Lebensfülle der Thiere“ *), sollte man erwarten, dass wie die Reizbarkeit so auch die Stromstärke schon nach den ersten 5 Minuten der Quellung fiele.

Man überlege aber, dass die Ablenkung der Nadel von zweierlei abhängig ist, erstens von der Grösse der elektromotorischen Kräfte und zweitens von der Grösse der Querschnitte, d. h. von den Widerständen. Beide wirken in entgegengesetztem Sinn auf die endliche Grösse des Ablenkungswinkels.

Es ist desshalb denkbar, dass die durch die Quellung hervorgerufene Beeinträchtigung der elektromotorischen Kräfte durch die damit verbundene Verminderung des Widerstandes in Folge der Dickenzunahme des Nerven anfänglich mehr als compensirt wird und ihr rasches Sinken erst später (nach 10 Minuten und darüber hinaus) den überwiegenden Einfluss auf die Nadel gewinnt und deren retrograde Bewegung bedingt. Diese gewänne dann bei fortschreitender Dickenzunahme des Nerv in Beziehung auf die Abnahme der elektromotorischen Kräfte noch einen höheren Werth, als die anguläre Ablenkung an sich bezeichnete.

*) Du Bois - Reymond Untersuch. über thierische Electric. II. pag. 287.

Doch darf man überhaupt nicht wännen, als hätte man durch obige Ablesungen der Nadelablenkungen einen numerischen Maasstab für die Abnahme des Muskelstromes gewonnen. Das lassen theils die von Du Bois schon entwickelten und für alle thierisch-elektrischen Versuche geltenden Gründe nicht zu, theils die eben berührten einander entgegenwirkenden Veränderungen der Nerven während ihrer Quellung, theils die experimentelle Unmöglichkeit die Präparate immer wieder ganz genau mit der gleichen Summe von Berührungspunkten auf die Schliessungsbäusche aufzulegen. Von letzterem Umstand mögen auch die kleinen Schwankungen bei dem II. und XI. Nerv herrühren.

Als constantes Ergebniss muss aber bezeichnet werden, dass Nerven, welche bis zu einem gewissen Grad eingetrocknet sind, und dabei eine Umkehr ihres Stromes gezeigt haben, nach 5 Minuten Aufenthalt in Wasser von 15° die alte elektromotorische Anordnung wieder gewinnen.

Jener Grad muss aber nach den Wägungen, welche ich von Birkner anstellen liess *), als der bezeichnet werden, in welchem die Nerven im Mittel 8,2% ihres Wassergehaltes bereits eingebüsst haben; ob sich später durch das Eintauchen in Wasser das ursprüngliche elektromotorische Verhalten wieder erzielen lasse, muss vorläufig dahingestellt bleiben.

Bei den Reizversuchen an dem galvanischen Präparat hat man schon längst die Erfahrung gemacht, dass grosse Reihen derselben nur zu gewissen Zeiten gelingen. Man hat desshalb angenommen, dass die Reizbarkeit der Thiere in hohem Grad wechsele, und hat in dieser Beziehung wesentlich die Jahreszeit und die Begattung ins Auge gefasst.

*) l. c. pg. 29.

Dadurch dass man die Widerstände unseres feuchten Rheostaten mit Vorbehalt als Index für die Reizbarkeit benützen kann, weil neben ihnen alle übrigen Grössen fast verschwinden, ist man jetzt im Stande, mit etwas grösserer Genauigkeit die Unterschiede der Reizbarkeit von Froschnerven verschiedener Individuen anzugeben.

Man hat keinen Anstand genommen, in anderen Fällen diejenigen Erscheinungen als gesetzlich zu betrachten, welche in den Stadien der grössten Erregbarkeit der Froschnerven angetroffen werden, und in dieser Zeit constant sind. Aus diesem Grunde habe ich auch zur Feststellung der Gesetze, nach welchen sich die Reizbarkeit mit Veränderung des Wassergehaltes ändert, die Zeit benützen lassen, in welchen notorisch die grösste Reizbarkeit der Thiere angetroffen wird. Es ist diess die Zeit von Januar bis März. In dieser sind alle die Versuche angestellt. Es würde sich Jemand wundern, wenn er die Versuche im Hochsommer oder selbst auch im Herbst mit einem Rheostaten von den beschriebenen Dimensionen anstellte, und ihn mit Wasser füllte — wie ganz anders, besonders für die frisch präparirten Nerven, die Widerstände ausfielen, welche er wählen müsste, um eben noch Zuckungen zu erregen.

Im Winter durften wir bei frischen Nerven im Mittel einen Widerstand von 776160000 Meter Normal-Kupferdraht anwenden, um die ersten constanten Zuckungen zu erzeugen; im Sommer dagegen durfte er nicht über 35280000 gesteigert werden. Diese Zahlen verhalten sich aber wie

$$1 : 22.$$

Die Reizbarkeit der Nerven erlaubt also im Winter einen 22mal grösseren Widerstand in den Schliessungsbogen einzuschalten als die, welche im Sommer gefunden wird. An den Resultaten, welche bei den

Austrocknungs - Versuchen gewonnen werden, ändert die Jahreszeit nichts. Im Sommer hatte ich ein Instrument zum Gebrauch, welches den Widerstand bis auf

3210480000 Meter

= 432467 geograph. Meilen

Normaldraht steigern liess. — Dieser ganze Widerstand reichte in einzelnen Fällen kaum hin, den Strom unwirksam zu machen, wenn der Nerv bei dem Austrocknen das Maximum seiner Reizbarkeit erreichte.

Aber auch in der gleichen Jahreszeit (im Winter) sind die individuellen Unterschiede nicht unbedeutend. Die Extreme der Widerstände, welche wir bei frischen Nerven einschalten durften, verhielten sich wie 1 : 5, ohne dass meteorologische Einflüsse oder die Herstellungsmethoden des Präparates irgendwie hiefür Erklärungsgründe hätten auffinden lassen.

Nach diesen Voruntersuchungen konnte man zu den wichtigsten numerischen Grundbestimmungen für Reizversuche übergehen, welche den Gegenstand der nächsten Abhandlungen bilden sollen, denn es sind, wie schon pag. 348 hervorgehoben wurde, die Rheostaten - Ablesungen nicht genau deckende Ausdrücke für die Reizbarkeitsgrade, durften deshalb vorläufig auch nur als Maassstab für vergleichende Versuchsreihen angewendet werden, während erst umständliche Reductionen aus ihnen die absoluten Werthe der Reizbarkeitsgrade erschliessen lassen.

Ausströmungs-Versuchen gewonnen werden, ändert die Jahreszeit nichts. Im Sommer habe ich ein Instrument zum Gebrauch, welches den Widerstand bis auf 1210180000 Meter

= 132167 geograph. Meilen

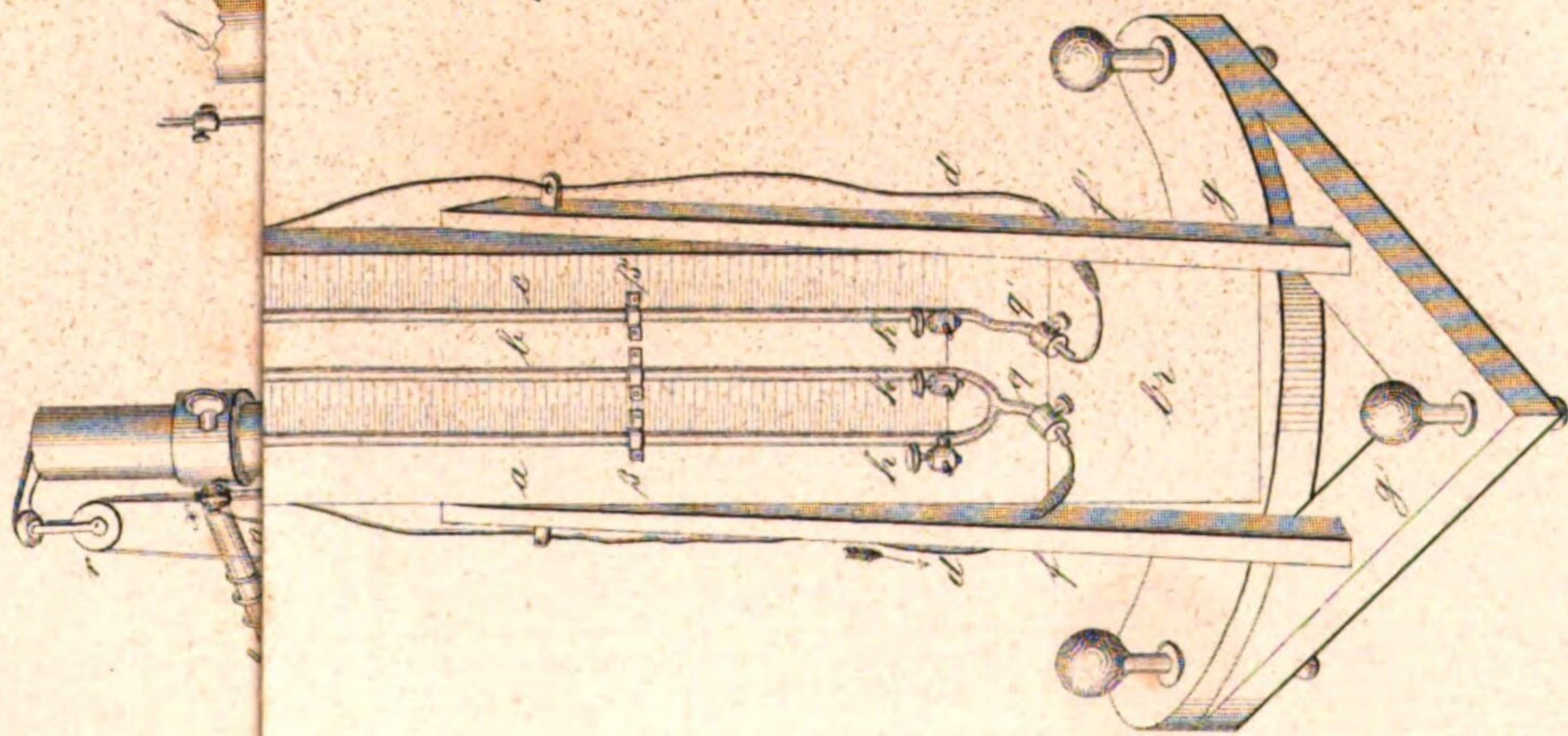
Normaldruck setzen lässt. — Dieser ganze Widerstand verbleibt in einem Zahlen fallen kann hin, den Strom unmittelbar zu machen, wenn der Nerv bei dem Ausströmen das Maximum seiner Reizbarkeit erreicht.

Aber auch in der gleichen Jahreszeit (im Winter) sind die individuellen Unterschiede nicht unbedeutend. Die Extreme der Widerstände, welche wir bei fischen Nerven erhalten konnten, verhielten sich wie 1:5, ohne dass meteorologische Einflüsse oder die Herstellungsart des Präparates irgendwie isolirte Erklärungsgründe hätten annehmen lassen.

Nach diesen Voruntersuchungen konnte man zu den wichtigsten unmittelbaren Grundbestimmungen für Reizversuche übergehen, welche den Gegenstand der nächsten Abhandlungen bilden sollten, denn es sind, wie schon pag. 348 hervorgehoben wurde, die Rheostaten-Ablesungen nicht genau deckende Ausdrücke für die Reizbarkeitsgrade, durlen deshalb vorläufig auch nur als Massstab für vergleichende Versuchsreihen angewendet werden, während erst künftige Erörterungen aus ihnen die absoluten Werthe der Reizbarkeitsgrade erschliessen lassen.

22

Die Reizbarkeit des Nerven scheint also im Winter einen 22 mal größeren Widerstand zu den Schlussabmessungen anzuschließen als im Sommer gefügt wird. An den Rheostaten, welche bei den



Rh. 2.



Fig. 1.

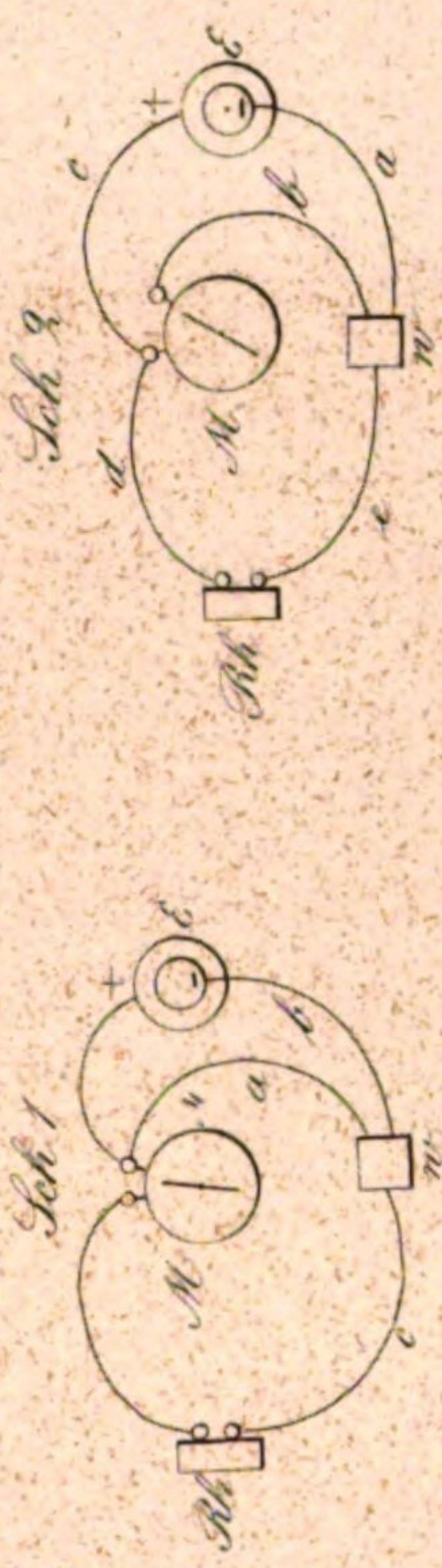


Fig. 2.

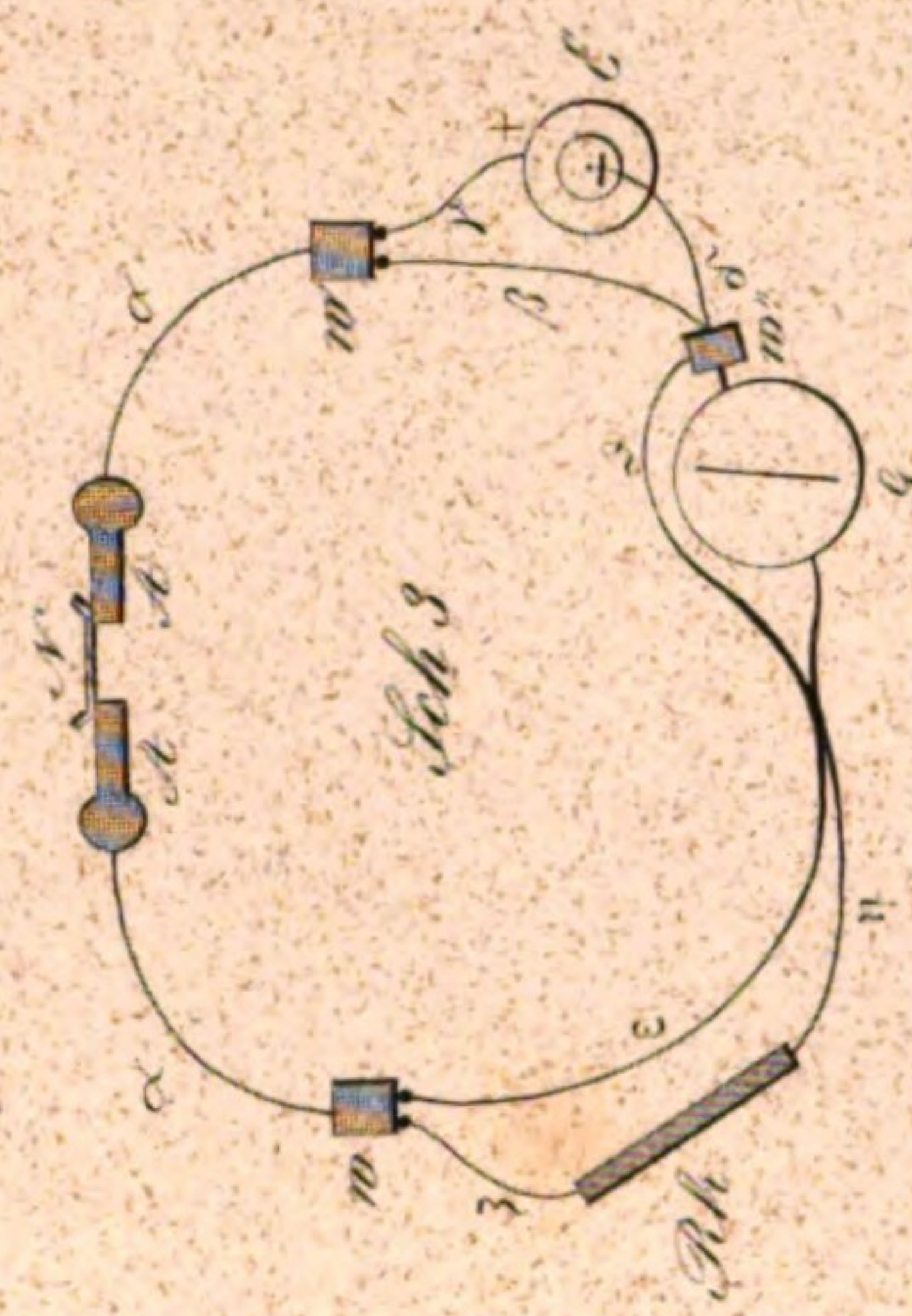


Fig. 3.

Harless, Emil,

Molekuläre Vorgänge in der Nervensubstanz

Bd.: 1

München 1858

4 Anat. 87 o#Beibd.4

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10330900-1